~~2 XI 158~~

Astr. o 61.

J. XI 158.

Allgemeine

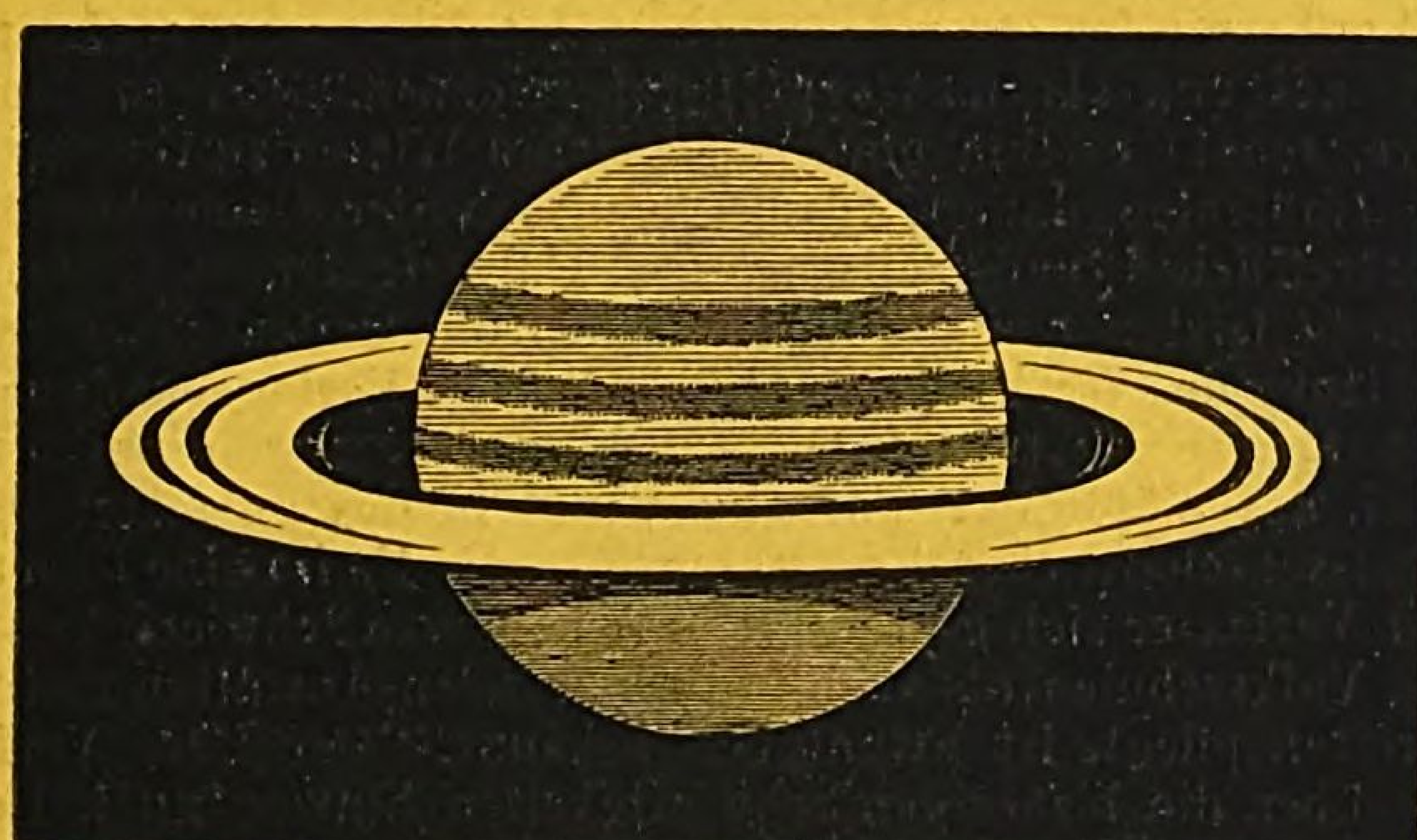
Himmelskunde.

Eine populaire Darstellung dieser Wissenschaft

nach den neuesten Forschungen

von

Eduard Wetzel.



Mit 144 Holzschnitten und 5 lithographirten Sternkarten.

Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage.

Berlin.
Verlag von Adolph Stubenrauch.
1870.

Im Verlage von **Adolph Stubenrauch** in Berlin sind ferner erschienen:

Adam, W.,

Lehrbuch der ebenen und körperlichen Geometrie

mit Berücksichtigung

des Construirens und Rechnens

nach den neuesten Maassbestimmungen

zum Gebrauch

in Schullehrer-Seminarien und gehobenen Stadtschulen

wie auch

für den Selbstunterricht.

Mit 109 in den Text eingedruckten Figuren.

Preis 1 Thlr.

Das **Berliner Fremdenblatt** sagt darüber: Das Buch ist eine auf dem Gebiete der mathematischen Literatur so vorzügliche Erscheinung, dass wir es für unsere Pflicht erachten, die pädagogische Welt auf das neue Werk des bereits durch seine anderweitigen schriftstellerischen Leistungen uns rühmlichst bekannten Verfassers aufmerksam zu machen. Genanntes Werk ist nämlich eine durchweg elementar gehaltene Bearbeitung der reinen und angewandten Planimetrie und Stereometrie mit lobenswerther Rücksichtsnahme auf weitergehende Anforderungen, wie solche in gegenwärtiger Zeit an Lehrerseminarien gestellt werden. Die Lehrweise des Verfassers ist streng einfach und vollkommen sachgemäss, weshalb wir sie mit **grosser Befriedigung** als **mustergültig** bezeichnen. Bei solcher Behandlung wird selbst der Schwächere, sobald es ihm um geometrisches Wissen zu thun ist, erfasst und weiter geführt. — — Wir empfehlen daher Adams Lehrbuch der Geometrie mit vollster Ueberzeugung als ein vortreffliches und zeitgemässes Unterrichtsmittel, welches Lehrern wie Schülern grosse Dienste leisten und darum sicherlich die weiteste Verbreitung finden wird. Für die schöne Ausstattung des Werkes gebührt überdies der Verlagshandlung alle Anerkennung.

Die **Neue Preussische Zeitung:** Ohne einem streng wissenschaftlichen Systeme zu folgen, will das Buch auf **möglichst einfache** Weise in das geometrische Gebiet einführen und schliesslich zu wissenschaftlichen Resultaten führen. Es ist eine **überaus dankenswerthe Aufgabe** die der Herr Verfasser sich gestellt, denn wie grosse Schwierigkeiten der geometrische Unterricht sowohl in Volksschulen als auch in Präparanden-Anstalten und Seminarien Lehrern und Schülern zu bereiten pflegt, ist männiglich bekannt. Der Herr Verfasser hat es **vortrefflich verstanden** über die bisherigen Schwierigkeiten **hinweg zu helfen.** Die elementare entwickelnde Lehrform macht die Kost **leicht verdaulich** und die Verwerthung des Stoffes fürs **practische** Leben macht sie **schmackhaft** und **nahrhaft.**

Mentzel, J.,

Mathematisches Wörterbüchlein.

Für Lehrer der Mathematik.

Preis 15 Sgr.

Liese,

Die Raumlehre in der Volksschule.

Mit Aufgaben und 8 Figurentafeln.

Preis 10 Sgr.

Allgemeine

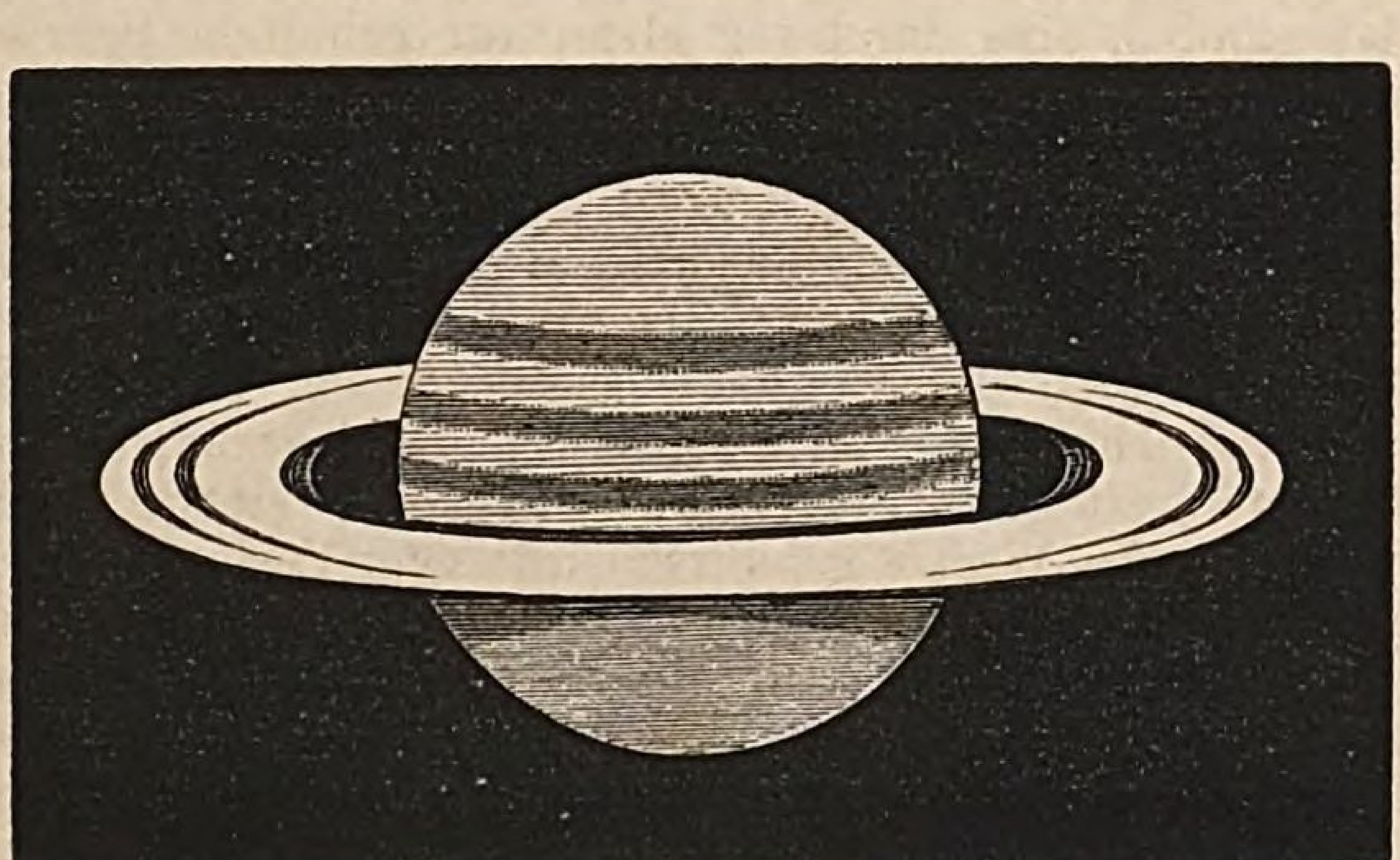
Himmelskunde.

Eine populäre Darstellung dieser Wissenschaft

nach den neuesten Forschungen

von

Eduard Wetzel.



Mit 144 Holzschnitten und 5 lithographirten Sternkarten.

Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage.

BIBLIOTHECA
CIVITATIS
BABENBERGENSIS.

Berlin.

Verlag von Adolph Stubenrauch.

1870.

Das Recht der Uebersetzung ist vorbehalten.

Vorrede zur zweiten Auflage.

Als der Zweck des vorliegenden Buches wurde in der Vorrede zur ersten Auflage der bezeichnet: »das Interesse für den Himmel und seine Wunder zu erhöhen, Liebe zur Betrachtung des gestirnten Himmels zu erwecken, sowie möglichst klare Vorstellungen von den Bewegungen der Weltkörper und den zwischen ihnen bestehenden Beziehungen namentlich bei Lehrern zu erzeugen, damit dem Unterrichte in der mathematischen Geographie eine wichtigere Stellung zu theil werden möge, als ihm bisher gewöhnlich eingeräumt wird.« Zugleich ward ferner erklärt: »doch ist das Buch nicht nur für Lehrer geschrieben, sondern auch für alle Freunde der Himmelskunde, die sich über die Beziehungen der Erde zu Sonne, Mond und Sternen und dieser letzteren unter einander belehren, oder etwa schon vorhandene Kenntnisse erweitern und berichtigen wollen.« Diesen Zweck zu fördern ist das Buch auch in dieser zweiten Auflage bestimmt. Es hat im großen Ganzen seine bisherige Einrichtung bewahrt, einmal, da dieselbe von den verschiedensten Seiten Billigung und Anerkennung gefunden hat, sodann, weil das Buch in mehrere Anstalten eingeführt worden ist und diesen eine große Umgestaltung nicht erwünscht sein kann, da es alsdann schwer werden würde, beide Auflagen neben einander zu gebrauchen, und endlich, weil wir auch heute noch den darin befolgten Gang für den behandelten Gegenstand als den zweckmäßigsten erachten.

Weil das Buch nach dem oben Gesagten für weitere Kreise berechnet ist, so ist dahin gestrebt worden, die betreffenden Lehren, ohne oberflächlich zu sein, in möglichst einfacher populärer Form darzustellen und höhere mathematische Entwicklungen auszuschließen; nur wo es galt, in interessante Ver-

hältnisse etwas näher einzuführen, ist über das gewöhnlich vorauszusetzende Maß mathematischer Kenntnisse hinausgegangen worden. In diesem Falle, sowie überhaupt dann, wenn es sich um Betrachtung feinerer Beziehungen handelte, ist kleinerer Druck zur Anwendung gekommen.

Was die Art der Darstellung der Sache betrifft, so war Hauptzweck nicht mathematische Entwicklung, sondern die Erweckung möglichst klarer Vorstellungen von den tellurischen und kosmischen Verhältnissen. Zu dem Ende ist im allgemeinen von den Erscheinungen ausgegangen worden, die sich einem aufmerksamen Beobachter an Sonne, Mond und Sternen darbieten; wo sich aber manches der unmittelbaren Anschauung entzieht, da ist im Anschluß an bereits Bekanntes auf dem Wege der Induction in das Verständnis neuer Verhältnisse einzuführen versucht worden, und wo es angemessen schien, ist das genetische Verfahren zur Anwendung gekommen, welches die betreffende Sache vor dem geistigen Auge entstehen läßt.

Um zum Nachdenken anzuregen und den Flug der Phantasie, die in unserm Gegenstande so oft bethätigt werden muß, nicht zu lähmen, folgt die Veranschaulichung durch Figuren gewöhnlich der Entwicklung der betreffenden Sache, ein Verfahren, das auch beim Unterrichte zu empfehlen ist.

In Beziehung auf die Anordnung des Stoffes ist zu bemerken, daß, wie früher in der ersten Auflage, in der ersten Abtheilung des Buches von der Betrachtung der Erscheinungen ausgegangen worden ist, ein Gang, welchem bei dem behandelten Gegenstande selbst von *Alex. v. Humboldt* das Wort geredet wird, und der auch unter Pädagogen immer allgemeinere Billigung findet. Dieser Betrachtung schließt sich in der zweiten Abtheilung die der wirklich bestehenden Verhältnisse an. Es wird in diesem Theile des Buches gezeigt, in welcher Weise die an Sonne, Mond und Sternen wahrgenommenen Erscheinungen ihre ungezwungene Erklärung finden.

In der dritten Abtheilung, welche die Topographie des Himmels behandelt und das giebt, was man mit Hilfe des Fernrohrs und anderer geeigneten Instrumente über die einzelnen Glieder des Sonnensystems erforscht hat, sind Sonne, Mond, Kometen und Sternschnuppen besonders ein-

gehend behandelt, was wegen des großen Interesses, welches diese Weltkörper namentlich in der neusten Zeit erregt haben, keiner Rechtfertigung bedürfen wird.

Die vierte Abtheilung des Buches endlich handelt, nachdem in dem Früheren das Was und das Wie besprochen worden, von dem Warum, von den zwischen den Weltkörpern thätigen Kräften und den Gesetzen, nach welchen sie wirken.

Wer das Buch aufmerksam durchliest und mit der ersten Auflage vergleicht, wird es gerechtfertigt finden, daß diese neue Auflage eine verbesserte genannt worden ist. Es sind Mängel in der Darstellung verbessert, Irrthümer nach Möglichkeit berichtigt worden, und die Resultate der neuesten Forschungen zur Benutzung gekommen. Das einschlagende Material ist aber bei den großen Fortschritten der Astronomie in den letzten Jahren ein so reiches, daß auch Vermehrung des Inhaltes geboten schien. So machten die vielen neuen Planetenentdeckungen, durch welche die Zahl der Planeten, die nach der ersten Auflage sich auf 54 belief, auf 116 gestiegen ist, Nachträge nothwendig. — Ein hervorragendes Interesse hat in den letzten Jahren ohne Zweifel die Sonne erregt. Die von *Bunsen* und *Kirchhoff* auf sie angewendete Spektral-Analyse hat zu so interessanten Ergebnissen geführt und die Ansicht über die physische Beschaffenheit unsers Centralkörpers so sehr umgestaltet, daß ein Ignoriren der einschlagenden Forschungen, die jeden Gebildeten interessiren müssen, getadelt werden müßte. Die Entdeckungen auf diesem Gebiete sind aber so zahlreich, daß es schwer hält, denselben überall ins Einzelne hinein zu folgen; sie alle nur zu registriren würde allein ein Buch füllen können; wir mußten uns daher auf das Wichtigste beschränken. Außerdem sind manche Entdeckungen, wie es bei der Neuheit der Untersuchungen nicht anders sein kann, oft so widersprechend, daß man Mühe hat, sie einzeln gehörig zu würdigen. So haben wir bei der Besprechung der Sonnenatmosphäre nach *Secchi* die Region derselben, in welcher wahrscheinlich die Umkehr der hellen spektrischen Linien in dunkle *Fraunhofer*sche stattfinde, zwischen die Chromosphäre und die eigentliche Photosphäre gesetzt; nach *Lockyer*s noch neueren Bestimmungen soll diese Umkehr in den obersten Schichten der

Photosphäre selbst erfolgen, was wir hier kurz andeuten wollen. — *Schiaparelli*'s Entdeckung eines Zusammenhanges zwischen Kometen und Sternschnuppen hat auch für diese Gebilde des Weltenraumes ein reges Interesse wachgerufen; wir glaubten deshalb auch diesem Gegenstande eine eingehende Betrachtung widmen zu müssen. Wegen der ganz neuen Betrachtungsweise dieser Gegenstände haben die betreffenden Kapitel eine ganz neue Bearbeitung nöthig gemacht. Dieses sind in der Kürze die wesentlichsten Vermehrungen, welche das Buch erfahren hat; geringere, z. B. die, zu welcher die Anwendung der Spektral-Analyse auch auf andere Himmelskörper als die Sonne Veranlassung bot, wollen wir im Einzelnen nicht weiter namhaft machen. Den Gebrauch des Buches haben wir durch eine möglichst übersichtliche Anordnung des Stoffes, durch Wahl geeigneter Schrift, durch viele meist in den Text gedruckte, von uns entworfene Figuren, sowie durch ein systematisches und ein alphabetisches Register möglichst zu erleichtern gesucht.

Möge das vom Herrn Verleger schön ausgestattete Buch auch in dieser zweiten Auflage eine freundliche Aufnahme finden und Liebe zur Himmelskunde in immer weitere Kreise verbreiten!

Berlin.

Der Verfasser.

Inhalt.

Erste Abtheilung.

Von den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper.

Seite

Vorbereitung . 1

Erster Abschnitt.

Von den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper in allgemeinen Umrissen.

Erstes Kapitel. Von der scheinbaren Bewegung der Sonne 5
Zweites Kapitel. Von der scheinbaren Bewegung des Mondes . . . 7
Drittes Kapitel. Von der scheinbaren Bewegung der Sterne 8
Viertes Kapitel. Vorbereitung zu einer specielleren Betrachtung der scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper . . 10
Fünftes Kapitel. Lage der Himmelsachse und der Parallelkreise zum Horizonte 16

Zweiter Abschnitt.

Speciellere Betrachtung der scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper.

Erstes Kapitel. Von der scheinbaren Bewegung der Sonne 21
I. Jährlicher Lauf der Sonne 21
II. Von der Dämmerung 25
III. Von der Ekliptik 28
IV. Von der Eintheilung der Ekliptik 32
V. Eigenthümlichkeiten in der Bewegung der Sonne 36
Zweites Kapitel. Von der scheinbaren Bewegung des Mondes . . . 44
I. Veränderlicher Lauf des Mondes 44
II. Von der Mondbahn 48
Drittes Kapitel. Von den Sternen 54
I. Von den Fixsternen 54
II. Von den Planeten 56
III. Von den Kometen 57
IV. Von der scheinbaren Bewegung der Sterne 59
V. Von der Bestimmung der Position der Sterne 62
VI. Von der Strahlenbrechung 66

Zweite Abtheilung.

Von den wirklichen Bewegungen der Himmelskörper.

Erster Abschnitt.

Von der Erde.

Erstes Kapitel. Die Erde hat eine kugelförmige Gestalt 73
Zweites Kapitel. Die Erde hat eine Achsendrehung 82
I. Negative Beweise für die Achsendrehung der Erde 83
II. Positive Beweise für die Achsendrehung der Erde 85
A. Die Gradmessungen 90
Folgerungen 96
B. Das Pendel 99

Seite

Drittes Kapitel. Die Achsendrehung der Erde ist von Westen nach Osten gerichtet 103
I. Einwürfe gegen die Achsendrehung 103
II. Beweise für die Rotation der Erde von Westen nach Osten . . 104

Viertes Kapitel. Erklärung der scheinbaren Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen durch die Rotation der Erde . 114
I. Im allgemeinen 114
II. Vorbereitung zur specielleren Erklärung der Erscheinungen . 122
III. Erklärung der scheinbaren Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen in verschiedenen Breiten 133
A. Erscheinungen für den Aequator 137
B. Erscheinungen für den nördlichen Wendekreis 140
C. Erscheinungen auf dem südlichen Wendekreise 142
D. Erscheinungen für den nördlichen Polarkreis 142
E. Erscheinungen für den südlichen Polarkreis 144
F. Erscheinungen für den Nordpol 144
G. Zusammenfassung 147
IV. Gegenfüßler, Gegenwohner, Nebenwohner 149

Fünftes Kapitel. Die Erde hat eine fortschreitende Bewegung . . . 151
I. Gründe für dieselbe 151
II. Erklärung der Erscheinungen aus der Bewegung der Erde um die Sonne . 152
A. Annahme einer senkrechten Achsenstellung der Erde . . . 156
B. Angenommen, die Erdachse falle in die Ebene der Erdbahn 157
C. Wirkliche Lage der Achse zur Bahn 159
III. Von den Zonen 167
IV. Von den Klimaten 171
V. Die Erdbahn ist eine Ellipse 173
Folgen der Bewegung der Erde in einer elliptischen Bahn . 176
VI. Von der Zeit . 181
VII. Das Wichtigste von der Zeitrechnung und dem Kalender . . . 191
A. Der astronomische Kalender 192
B. Der kirchliche Kalender 198

Zweiter Abschnitt.

Von dem Monde.

Vorbereitende Bemerkungen 207

Erstes Kapitel. Erklärung der betreffenden Erscheinungen aus den Bewegungen des Mondes 208
I. Im allgemeinen 208
II. Bewegung des Mondes mit besonderer Beziehung zur Mondbahn 213
III. Von der Rotation des Mondes 221
IV. Von den Finsternissen 226
A. Von den Mondfinsternissen 229
B. Von den Sonnenfinsternissen 234

Dritter Abschnitt.

Von den Planeten.

Erstes Kapitel. Von den Eigenschaften und scheinbaren Bewegungen der Planeten 243

Zweites Kapitel. Von den Versuchen der Alten, die Bewegungen der Planeten zu erklären. Planetensysteme 251

Drittes Kapitel. Das Copernikanische System und Erklärung der Erscheinungen nach demselben 258

Viertes Kapitel. Kepler und seine Gesetze 267

Fünftes Kapitel. Von der Einrichtung und Ausdehnung des Planetensystems, soweit es gegenwärtig bekannt ist 281

Dritte Abtheilung.

Topographie des Himmels.

Erster Abschnitt.

Beschreibung der einzelnen Glieder des Sonnensystems.

Seite

Erstes Kapitel. Die Sonne 290
Zweites Kapitel. Von den Planeten 313
A. Die inneren Planeten 313
1. Merkur . 313
2. Venus . 317
3. Die Erde mit ihrem Monde 325
A. Die Erde 325
B. Der Mond 330
4. Mars . 355
B. Die mittleren Planeten 359
5. Die Asteroiden 359
C. Die äußeren Planeten 368
6. Jupiter und seine vier Monde 368
I. Jupiter 368
II. Die vier Monde Jupiters 373
7. Das System Saturns 380
I. Die Saturnskugel 381
II. Die Ringe Saturns 383
III. Die Monde Saturns 390
8. Das System des Uranus 391
I. Uranus 391
II. Die Monde des Uranus 393
9. Das System des Neptun 394
I. Neptun 394
II. Der Mond Neptuns 396
Veranschaulichung der wichtigsten Elemente des Sonnensystems . . 397
Drittes Kapitel. Von den Kometen 398
A. Im allgemeinen . 398
B. Betrachtung der wichtigsten Kometen 404
I. Periodische Kometen mit kurzen Umlaufszeiten 405
II. Periodische Kometen mit längeren Umlaufszeiten, die in ihrer mittleren Entfernung innerhalb der Neptunsbahn bleiben 410
III. Kometen mit langen Umlaufszeiten, welche in ihrer mittleren Entfernung über die Neptunsbahn hinausgehen 414
Viertes Kapitel. Der Nebelring 423
Fünftes Kapitel. Von den Sternschnuppen 427
Der Auguststrom . 431
Der Novemberstrom . 432
Andere vermuthete Sternschnuppenströme 435
Tabellarische Uebersicht der wichtigsten Elemente des ganzen Sonnensystems 443

Zweiter Abschnitt.

Von den Fixsternen.

Erstes Kapitel. Bestimmung der Entfernung der Gestirne 451
Zweites Kapitel. Speciellere Besprechung der Fixsterne 458
I. Funkeln, Farbe, Vertheilung etc. der Fixsterne 458
II. Von der verschiedenen Gestaltung der Fixsterne. Doppelsterne, Sternhaufen und Nebelflecke 468
III. Entfernung und Parallaxe der Fixsterne 482

Seite
IV. Von der Aberration des Lichts 486
V. Präcession und Nutation 493
VI. Eigenbewegung der Fixsterne 496
VII. Von den Sternbildern 502
VIII. Ueber die Mittel, die Sternbilder kennen zu lernen 513

Vierte Abtheilung.

Von den bewegenden Kräften und den Gesetzen der Bewegung.

Erster Abschnitt.

Von der Materie, ihren Eigenschaften und den auf sie und in ihr wirkenden Kräften.

Erstes Kapitel. Von den wichtigsten Eigenschaften der Materie . . 521
Zweites Kapitel. Wirkung äußerer Kräfte auf die Körper 523

Zweiter Abschnitt.

Von der Gravitation oder allgemeinen Schwere.

Erstes Kapitel. Von den Attractions-Gesetzen 526
Zweites Kapitel. Von der Wirkung der terrestrischen Schwere . . . 530
I. Vom freien Fall der Körper 530
II. Vom Pendel . 534
III. Von der Wurfbewegung 538
Drittes Kapitel. Von der Centralbewegung 539
Viertes Kapitel. Von dem Schwerpunkte der Körper 548
Fünftes Kapitel. Die Entdeckung der Gravitations-Gesetze durch Newton 553
Sechstes Kapitel. Massen- und Dichtigkeits-Bestimmungen der Himmelskörper . . . , ... 558

Dritter Abschnitt.

Von den sogenannten Störungen.

Erstes Kapitel. Von den Störungen im allgemeinen 566
Zweites Kapitel. Von den Störungen im einzelnen 569
A. Periodische Störungen:
I. Von den Störungen des Mondes 569
II. Die periodischen Störungen der Planeten 573
B. Von den säcularen Störungen:
I. Säculare Störungen des Mondes 574
II. Die säcularen Störungen der Erde 577
III. Säculare Störungen der übrigen Planeten 580
IV. Von den Störungen der Kometen 582
Drittes Kapitel. Von der Ebbe und Flut:
I. Ebbe und Flut des Oceans 583
II. Ebbe und Flut der Atmosphäre 592
III. Wirkung der Erde auf den Mond 593
Viertes Kapitel. Hypothese über den Ursprung des Sonnensystems . 594
Fünftes Kapitel. Dauer des Sonnensystems 600

Erste Abtheilung.

Von den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper.

Vorbereitung.

1. **Der Horizont.** Befinden wir uns auf einem freien Platze, wo nichts unsere Aussicht hindert, so überblicken wir, uns umschauend, einen Theil der Erdoberfläche, der nach allen Seiten hin mehr oder weniger kreisförmig begrenzt erscheint. Auf dem Meere nähert sich die überschaute Fläche am meisten dem Kreise; zugleich ist sie daselbst am größten. Wir selbst befinden uns in dem Mittelpunkte dieser Fläche, und es heißt dieser Punkt unser Standpunkt oder Standort. Ueber uns breitet sich der Himmel in der Gestalt eines großen Gewölbes oder einer hohlen Halbkugel*) aus, die sich überall zur Erde herabzusenken und auf der überschauten Fläche zu ruhen scheint. Auf diese Weise wird die Fläche, auf der wir stehen, kreisförmig begrenzt, und diese kreisförmige Grenze heißt der Gesichtskreis oder der Horizont. Der Horizont ist mithin die Kreislinie, in welcher sich Himmel und Erde zu berühren scheinen. Wo man sich auf der Erde auch auf einem freien Platze befinden möge, überall ist man von dem Horizonte umgeben; aber dieser ist für jeden neuen Ort ein anderer. Aendern wir also unsern Standpunkt, so ändert sich auch unser Horizont. Da zwei Menschen zu gleicher Zeit nicht denselben Standort inne haben können, so hat, streng genommen, ein jeder seinen eigenen Horizont. Wie jeden andern Kreis, theilt man auch den Horizont in 360 gleiche

*) Infolge einer optischen Täuschung erscheint der sichtbare Himmel nicht als eine vollkommene, sondern als eine flach gedrückte Halbkugel, und es verhält sich der vertikale zum horizontalen Halbmesser etwa wie 3 : 10.

Theile und nennt diese Theile Grade (^{0}), deren jeder wieder in 60 gleiche Theile oder Minuten ($'$), und jede dieser in 60 Sekunden ($''$) zerfällt.

Ein Kreis hat also $360^0 = 21600' = 1296000''$

$$1^0 = 60' = 3600''$$

$$1' = 60''$$

Die von dem Horizonte begrenzte Fläche der Erde nennt man die Horizontfläche. Diese ist keine ebene, sondern, weil ein Theil der Erdoberfläche, auch im ebensten Lande und auf dem Meere, eine krumme Fläche. Man kann sich aber eine Ebene vorstellen, die von dem Horizonte begrenzt wird, und diese Ebene heißt die Horizontebene. Die Lage derselben kann der Spiegel eines ruhigen Sees veranschaulichen.

2. **Zenith und Nadir.** Nicht alle Punkte des sichtbaren Himmels haben eine gleiche Entfernung von dem Horizonte. Die Entfernung eines Punktes am Himmel vom Horizonte nennt man die Höhe des Punktes. Der höchste Punkt des sichtbaren Himmels liegt gerade über unserm Scheitel, und heißt deshalb der Scheitelpunkt oder das (der) Zenith. Dieser Punkt wird für einen bestimmten Standpunkt gefunden, wenn man die Schnur eines über diesem Punkte in Ruhe befindlichen Bleilothes nach oben bis zum Himmel verlängert denkt. Für jeden neuen Standpunkt giebt es ein neues Zenith.

Wäre die Erde durchsichtig, so würde man das Himmelsgewölbe sich auch unter den Horizont in Form einer hohlen Halbkugel fortsetzen sehen, so daß der ganze Himmel als eine hohle Kugel zu denken ist. Man spricht deshalb von einer Himmelskugel oder Himmelssphäre. Der Horizont halbirt dieselbe und theilt sie in eine sichtbare und eine unsichtbare Hälfte. Der tiefste Punkt der uns unsichtbaren Hälfte liegt gerade unter unseren Füßen, und wird darum der Fußpunkt oder das (der) Nadir genannt. Für einen bestimmten Standpunkt erhält man diesen Punkt, wenn man die Schnur eines Lothes nach unten gehörig verlängert denkt. Zenith und Nadir liegen also einander gerade gegenüber.

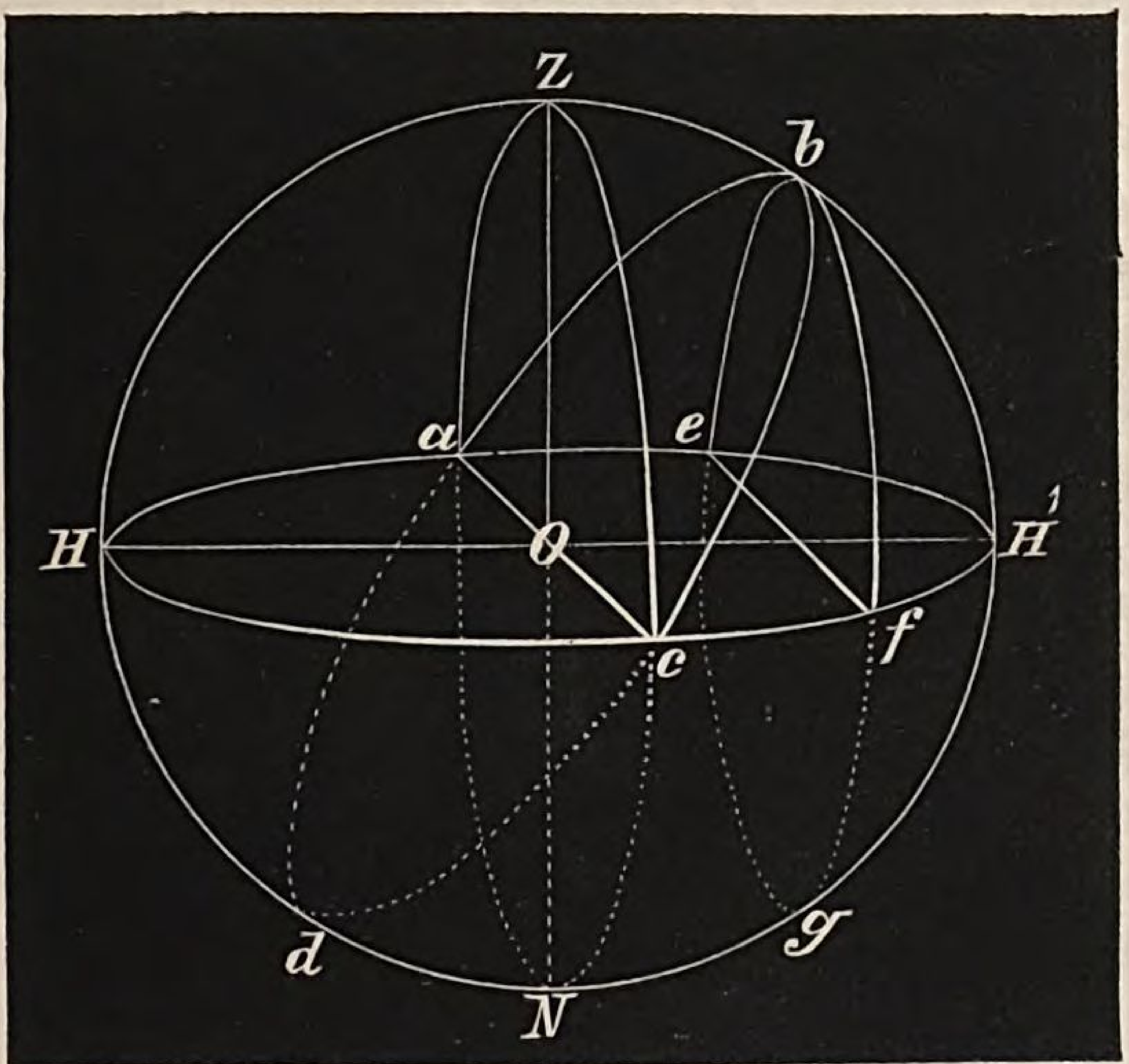
3. **Scheitellinie und Scheitelkreis.** Die gerade Linie, welche unsern Standpunkt mit dem Zenithe verbindet, heißt die Scheitel- oder Vertikallinie. Jede gerade Linie aber, welche in der Ebene des Horizontes liegt, wird eine horizontale Linie genannt. Die Vertikallinie steht senkrecht*) auf allen durch ihren Fußpunkt gehenden Horizontallinien. Ein Kreis, dessen Ebene durch die Scheitellinie, dessen Peripherie also durch Zenith und Nadir geht, heißt ein Scheitel- oder Vertikalkreis. Denkt man sich einen Scheitelkreis um die Scheitellinie gedreht, so nimmt derselbe die verschiedensten Lagen

*) Man muß die Begriffe vertikal und senkrecht nicht mit einander verwechseln. Eine gerade Linie ist vertikal, wenn sie die Richtung des Fadens eines in Ruhe befindlichen Lothes hat. Eine gerade Linie steht senkrecht auf einer andern, wenn sie mit ihr rechte Winkel bildet. Eine gerade Linie steht senkrecht auf einer Ebene, wenn sie mit allen durch ihren Fußpunkt gehenden geraden Linien rechte Winkel bildet.

an, und seine Peripherie trifft allmählich alle Punkte des Himmels. Gewöhnlich nennt man nur diese Peripherie Scheitelkreis. Man kann sich also durch jeden Punkt des Himmels einen Scheitelkreis gezogen denken. Die Ebenen aller Scheitelkreise schneiden sich in der Scheitellinie, die Peripherien aller im Zenith und Nadir. Alle Scheitelkreise sind ferner größte Kreise*) der Himmelskugel, sind als solche einander gleich, und jeder einzelne halbirt die Himmelskugel. Alle Scheitelkreise stehen senkrecht auf dem Horizonte. Die Ebene jedes Scheitelkreises schneidet die Ebene des Horizontes in einer geraden Linie, die den Horizont halbirt. Die Endpunkte dieser Linien sind also, wenn in dem Horizonte herumgezählt wird, 180° von einander entfernt. Wie jeder Scheitelkreis den Horizont, so halbirt der Horizont, der ebenfalls als ein größter Kreis des Himmels anzusehen ist, auch jeden Scheitelkreis, so daß von einem solchen Kreise 180° über und eben so viel unter dem Horizonte liegen. Jede dieser Hälften wird wieder vom Zenith und vom Nadir halbirt; mithin sind Zenith und Nadir von allen Punkten des Horizontes 90° entfernt. Kein Punkt des Himmels kann demnach mehr als 90° Höhe haben. Diese wird stets in Scheitelkreisen gemessen, und es heißt für einen Punkt des Himmels der Bogen des durch diesen Punkt gehenden Scheitelkreises vom Horizonte bis zu dem Punkte die scheinbare Höhe desselben.

Wie alle Scheitelkreise, stehen auch alle die Kreise senkrecht auf dem Horizonte, die mit einem Scheitelkreise parallel laufen. Doch sind diese Kreise von ungleicher Größe. Je weiter sie sich von dem Scheitelkreise entfernen, desto kleiner, je näher sie demselben kommen, desto größer werden sie. Die Scheitelkreise sind die größten aller auf dem Horizont senkrecht stehenden Kreise.

Fig. 1.



Kreise endlich, welche mit einem Scheitelkreise nicht parallel laufen, stehen schief auf dem Horizont, und sie können mit demselben die verschiedensten Winkel bilden.

4. **Veranschaulichung.** Das Gesagte möge *Fig. 1.* veranschaulichen.**)

*) Größte Kreise einer Kugel sind solche Kreise, deren Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt der Kugel zusammenfällt. Alle größten Kreise einer Kugel sind gleich groß, und jeder halbirt die Kugel; je zwei größte Kreise einer Kugel halbiren auch einander.

**) Vorstehende Grundbegriffe werden am besten auf freiem Felde gewonnen, um

Es sei der Kreis $H\,Z\,H'\,N$ das Himmelsgewölbe und $H\,a\,H'\,c$ der dasselbe halbirende Horizont. Ist in diesem O der Standpunkt, so ist Punkt Z das Zenith, ZO die auf dem Horizonte senkrecht stehende Scheitellinie, die, über O hinaus verlängert, das Nadir N trifft. Kreis $Za\,Nc$ ist ein Scheitelkreis und $a\,c$ die gerade Linie, in welcher die Ebene desselben die Horizontebene schneidet. Kreis $b\,e\,g\,f$ ist ein mit dem Scheitelkreise parallel laufender Kreis, der mithin ebenfalls auf dem Horizonte senkrecht steht. Hingegen ist $b\,a\,d\,c$ ein von der Lage des Scheitelkreises abweichender, mithin schief auf dem Horizonte stehender Kreis. Die gerade Linie $H\,O\,H'$ ist als die Durchschnittslinie des als Scheitelkreis anzusehenden Kreises $Z\,H\,N\,H'$ mit der Horizontebene $H a\,H'\,c$ zu betrachten.

sich von Anfang an zu gewöhnen, den Blick auf den Himmel zu richten. Dann erst ist es zweckmäßig, zur Veranschaulichung durch Modell oder Zeichnung zu schreiten. Jedenfalls muß vor der Veranschaulichung dem Schüler zugemuthet werden, durch Bethätigung der Phantasie die Sache sich vorzustellen.

Erster Abschnitt.

Von den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper in allgemeinen Umrissen.

Erstes Kapitel.

Von der scheinbaren Bewegung der Sonne.

Von allen Gestirnen des Himmels ist die Sonne das für uns wichtigste, und zwar durch zwei ihrer Gaben, durch Licht und Wärme. Darum wollen wir uns zuerst zu ihr wenden und ihre täglich zu beobachtende Bewegung in großen Umrissen betrachten.

1. **Auf- und Untergang, Auf- und Untergangspunkt.** Die Sonne erblicken wir nicht immer, sondern nur während des Tages am Himmel. Sie erscheint zuerst des Morgens am östlichen Himmel in einem Punkte des Horizontes, und wir sagen von ihr: sie geht auf. Der Punkt des Horizontes, in welchem der Mittelpunkt der Sonnenscheibe aufgeht, heißt ihr Aufgangspunkt. Von diesem Punkte aus erhebt sie sich als eine glänzende Scheibe im Laufe des Vormittags immer höher über den Horizont, bis sie zu Mittag den höchsten Punkt in ihrer Bahn eingenommen hat. Während des Nachmittags senkt sie sich von diesem Punkte an der entgegengesetzten Seite des Himmels dem Horizonte wieder zu, bis sie denselben am Abend in einem Punkte, Untergangspunkt genannt, erreicht, um nun, von uns ungesehen, ihren Weg unter dem Horizonte fortzusetzen und am nächsten Tage einen ähnlichen Weg zu durchlaufen.

2. **Tag- und Nachtbogen.** Wenn wir den über dem Horizonte liegenden Theil der Sonnenbahn betrachten, so erscheint uns derselbe als ein Theil eines Kreises oder als ein Bogen. Dieser Bogen, der mit dem Aufgangspunkte beginnt und mit dem Untergangspunkte endigt, wird bei Tage durchlaufen und darum der Tagbogen genannt. Dieser Bogen steht nicht senkrecht, sondern schief auf dem Horizonte. Den höchsten Punkt im Tagbogen erreicht die Sonne zu Mittag, und man sagt dann von ihr: sie culminirt; darum nennt man diesen Punkt den Culminationspunkt, und zwar den oberen Culminationspunkt. Er liegt in der Mitte zwischen dem Auf- und dem Untergangspunkte und theilt den Tagbogen in zwei gleiche Theile, welche Vor- und Nach-

mittagsbogen genannt werden. Beide Bogen sind also, wie die Zeit, in der sie von der Sonne durchlaufen werden, von gleicher Länge.*)

Der Weg, den die Sonne unter dem Horizonte während der Nacht durchläuft, ist ebenfalls ein Bogen und wird Nachtbogen genannt. Der tiefste Punkt in diesem Bogen liegt genau in der Mitte zwischen dem Unter- und dem Aufgangspunkte. In ihm culminirt die Sonne unter dem Horizonte, und er heißt deshalb der untere Culminationspunkt. Er liegt dem oberen Culminationspunkte gerade gegenüber, ist also von ihm 180° entfernt. Der Nachtbogen wird durch ihn in den Vor- und den Nachmitternachtsbogen getheilt; ersterer liegt zwischen dem Untergangs- und dem unteren Culminationspunkte, letzterer zwischen diesem und dem Aufgangspunkte.

3. **Tagkreis.** Tag- und Nachtbogen zusammen bilden einen Kreis, der von der Sonne in 24 Stunden oder einem Tage von O. nach W. durchlaufen und der Tagkreis genannt wird. Er steht schief auf dem Horizonte.

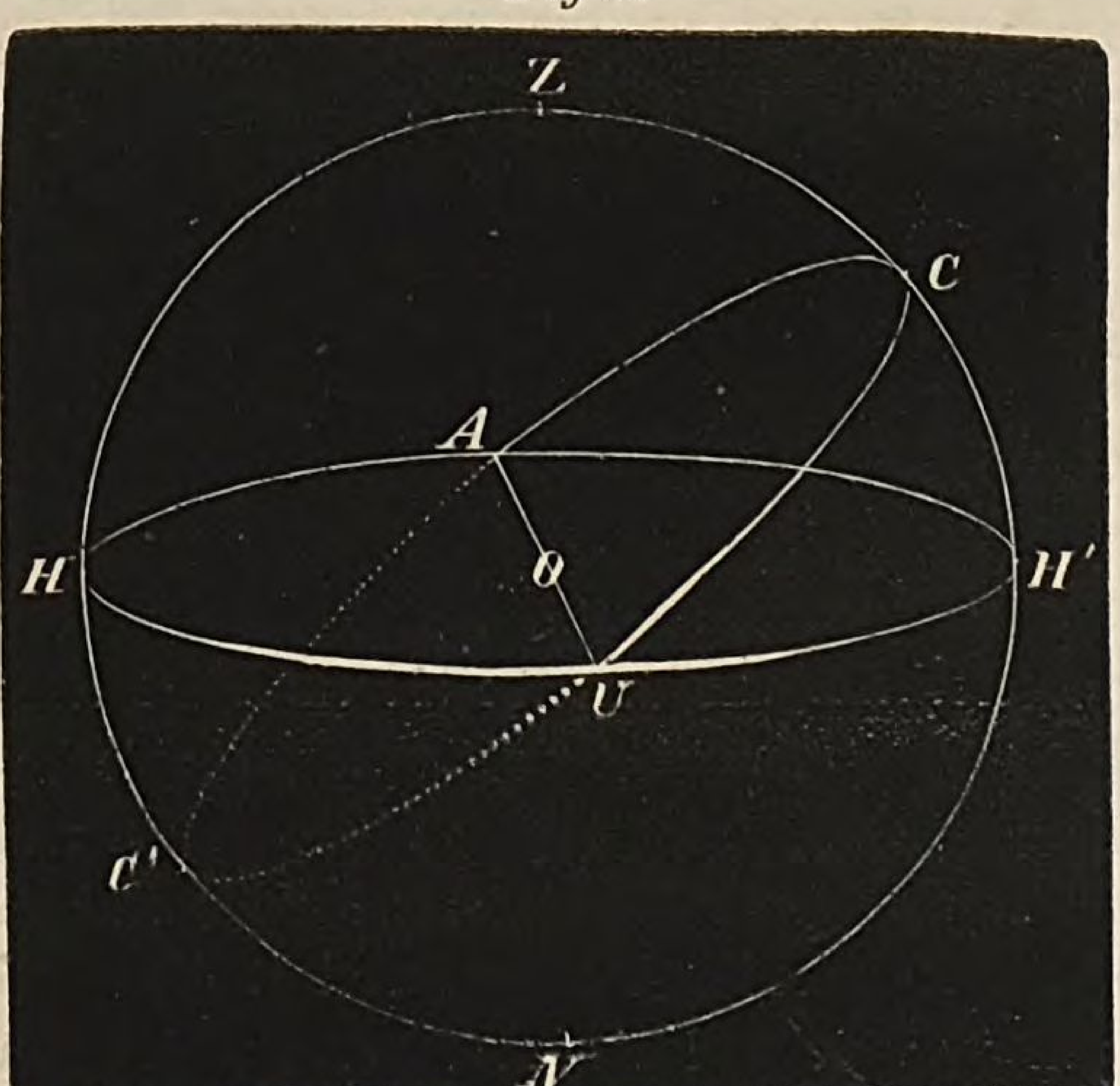
Stellen wir das Gesagte zusammen, so haben wir Folgendes:

Tagkreis = Tagbogen + Nachtbogen.
Tagbogen = Vormittags- + Nachmittagsbogen.
Nachtbogen = Vormitternachts- + Nachmitternachtsbogen.

Tag- und Nachtbogen sind nicht immer einander gleich, wohl aber Vor- und Nachmittagsbogen, Vor- und Nachmitternachtsbogen. Nur zweimal im Jahre sind alle vier Theile des Tagkreises von gleicher Länge, am 21. März und am 23. September.

4. **Veranschaulichung.** Auch dies möge eine Zeichnung, *Fig. 2*, veranschaulichen.

Fig 2.



Es sei, wie in der vorigen Figur, der äußerste Kreis das Himmelsgewölbe, Kreis *H A H' U* der Horizont, *A C U C'* der Tagkreis der Sonne am 21. März, und *O* der Standpunkt; dann ist *A C U* der Tagbogen mit dem Vormittagsbogen *A C* und dem Nachmittagsbogen *C U*, welche beide durch den oberen Culminationspunkt *C* von einander getrennt sind. Bogen *U C' A* ist der Nachtbogen mit dem Vormitternachtsbogen *U C'* und dem Nachmitternachtsbogen *C' A*, welche beiden Bogen der untere Culminationspunkt *C'* von einander scheidet. Der Tagkreis macht in der Figur mit dem Horizonte einen Winkel von $37\frac{1}{2}$°, wie es für Berlin gilt.

*) Mathematisch genau ist dies nicht der Fall, wie wir später sehen werden.

Zweites Kapitel.

Von der scheinbaren Bewegung des Mondes.

1. **Uebereinstimmung seiner Bewegung mit der der Sonne.** Wenden wir unsere Aufmerksamkeit auf den Mond, den treuen Begleiter der Erde, so finden wir neben mancherlei später genauer zu erörternden Verschiedenheiten in seiner täglichen Bewegung viel mit dem Laufe der Sonne Uebereinstimmendes. Auch er beschreibt täglich von O. nach W. einen Tagkreis, welcher, wie der der Sonne, schief auf dem Horizonte steht und von diesem in zwei Theile getheilt wird. Auch er geht täglich auf und unter und culminirt zweimal, über und unter dem Horizonte.

2. **Abweichung in der Zeit des Auf- und Unterganges.** Eine Verschiedenheit indessen findet in Beziehung auf die Zeit des Auf- und des Unterganges, sowie der Culminationen statt. Denn während diese Erscheinungen bei der Sonne an bestimmte Tageszeiten gebunden sind, der Aufgang an die Morgen-, der Untergang an die Abendzeit u. s. w., erfolgen dieselben bei dem Monde im Laufe eines Monats zu den verschiedensten Zeiten. Er kann bei Tage und bei Nacht, Vor- und Nachmittags culminiren, auf- und untergehen, und ist man etwas aufmerksam, so findet man, daß er zu seinem Tagkreise mehr als 24 Std., nämlich etwa 24 Std. 50 Min. gebraucht.

3. **Wechsel der Gestalt.** Außer dieser Verschiedenheit in der Zeit ist es der Wechsel in der scheinbaren Gestalt des Mondes, der besonders auffällt. Im allgemeinen unterscheidet man 4 Hauptgestalten oder Phasen des Mondes: Neumond, erstes Viertel, Vollmond und letztes Viertel.

Als Neumond, im Kalender ● bezeichnet, ist der Mond weder bei Tage noch bei Nacht am Himmel zu sehen, da seine dunkle Seite der Erde zugekehrt ist. Als erstes Viertel ☽ zeigt er die rechte Hälfte: als Vollmond ○ die ganze Scheibe, und als letztes Viertel ☾ nur die linke Hälfte seiner Scheibe erleuchtet. Bei einiger Aufmerksamkeit nimmt man ferner wahr, daß dieser Lichtwechsel binnen einem Monate oder genauer in $29^1/_2$ Tg. vor sich geht.

4. **Zu- und abnehmender Mond.** Vom Neumond bis zum Vollmond nimmt die Lichtgestalt des Mondes an Breite zu, und er heißt in dieser Zeit zunehmender Mond; vom Vollmond bis zum Neumond aber nimmt sie an Breite ab, und wird der Mond dann abnehmender Mond genannt. Im ersteren Falle ist die erleuchtete Seite nach rechts oder nach W. gerichtet, und es läßt sich aus derselben, namentlich aus der Sichel, durch Hinzufügung eines ähnlichen Bogens ein 𝔷 formen; im letzteren Falle wendet er die erleuchtete Seite nach links oder gegen O., und es kann dieselbe als der Anfangszug eines *a* betrachtet werden. So diktirt also der Mond gleichsam jedem Beschauer, ob er zu- oder abnimmt; wer aber die später zu besprechende Entstehung der Phasen kennt, bedarf dieses einfachen Hilfsmittels nicht, um stets zu wissen, wie es mit dem Monde steht.

Drittes Kapitel.

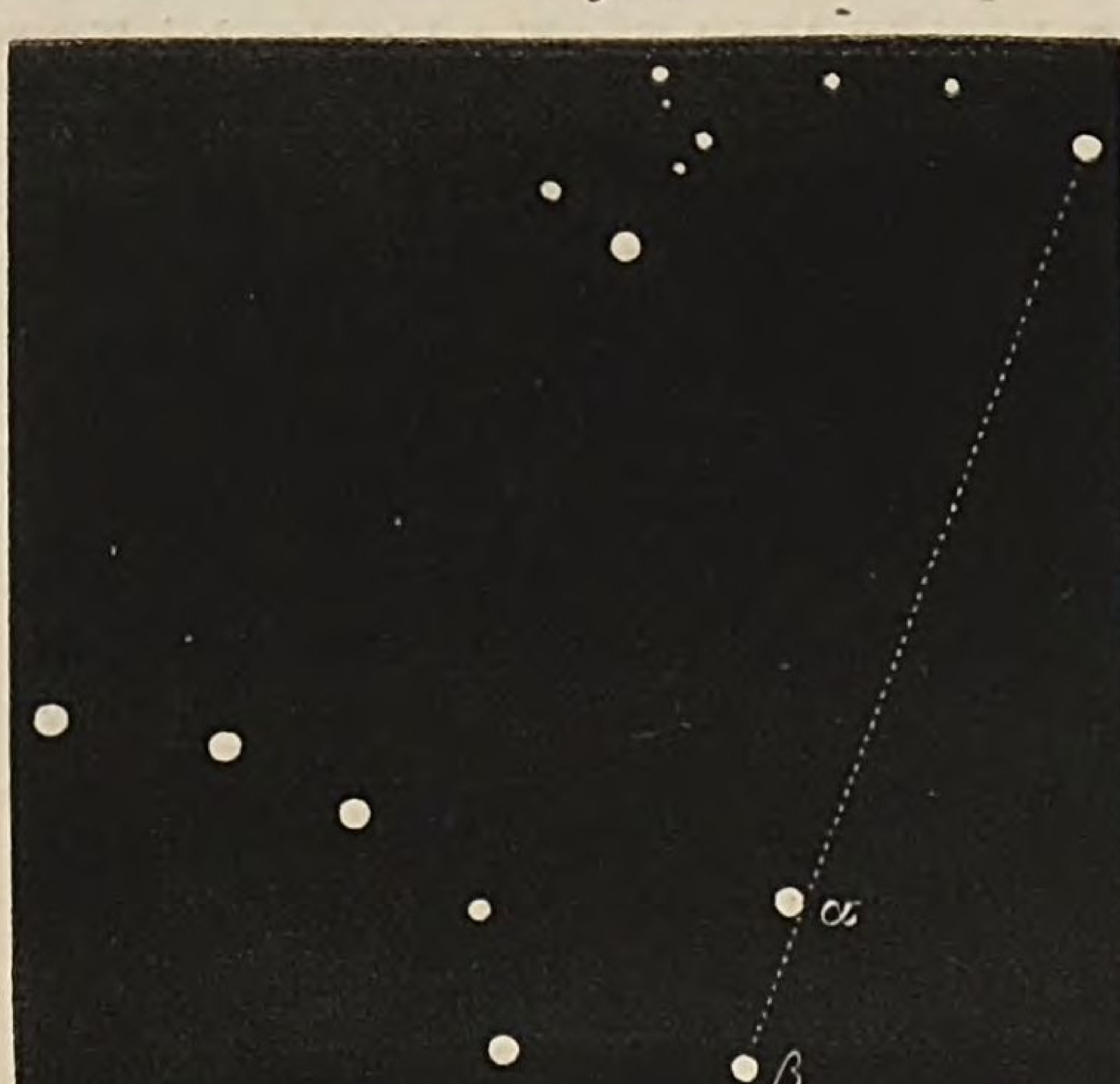
Von der scheinbaren Bewegung der Sterne.

Außer Sonne und Mond erblicken wir in heiteren Nächten tausende von funkelnden Lichtern am Himmel, die wir Sterne nennen. Sie erscheinen nicht alle von gleicher Größe, zeigen auch außerdem bei genauer Betrachtung noch mancherlei andere Verschiedenheiten, auf die jedoch an dieser Stelle noch nicht eingegangen werden soll. Indem wir dies auf einen spätern Abschnitt verschieben, reden wir hier nur von der Bewegung der Sterne, soweit sie sich ohne künstliche Beobachtungsmittel leicht wahrnehmen läßt.

1. **Uebereinstimmung ihrer Bewegung mit der der Sonne und des Mondes.** Achten wir an einem heitern Abend auf die Sterne, so bemerken wir, daß dieselben zwar ihre Stellung zu einander beibehalten, jedoch ihre Stellung zum Horizonte beständig ändern, und zwar zeigt sich ein allmähliches Fortrücken aller Sterne ohne Ausnahme von O. nach W., so daß also Sonne, Mond und Sterne in dieser Beziehung übereinstimmen. Bei dieser Bewegung durchläuft jeder Stern in etwa 24 Std.*) einen Kreis, der, wie bei Sonne und Mond, schief gegen den Horizont liegt; alle einzelnen Kreise aber laufen mit einander parallel.

2. **Verschiedene Größe und Lage der von den Sternen durchlaufenen Kreise.** Für verschiedene Sterne sind die Tagkreise von verschiedener Größe. Richtet man den Blick nach dem nördlichen Himmel, so findet man in einer gewissen Höhe Sterne, die sehr kleine Kreise durchlaufen, so daß man Mühe hat, eine Ortsveränderung an ihnen wahrzunehmen. Insonderheit gilt dies von einem helleren Sterne, den man mittelst einer sehr bekannten Sterngruppe sehr leicht am Himmel auffinden kann. Diese Sterngruppe ist der allbekannte Wagen, eine Gruppe von 7 hellen Sternen, die etwa die Figur eines Wagens mit einer Deichsel bilden. Sie gehören zu einem sogenannten Sternbilde, dem großen Bären, und sind schon im Alterthume als eine Gruppe aufgefaßt worden. Verbindet man, wie in nebenstehender *Fig. 3*, die beiden letzten Sterne des eigentlichen Wagens, oder die Sterne β u. α, in Gedanken durch eine gerade Linie und verlängert dieselbe nach der Seite der

Fig. 3.



*) Genauer in 23 Std. 56 Min. 4 Sek.

Deichsel hin, so findet man in etwa 5facher Entfernung der beiden Sterne β und α einen hellen Stern, der zum Sternbilde des kleinen Bären gehört, aus dessen Hauptsternen man ebenfalls einen Wagen formen kann, und dieser Stern ist der sogenannte Polarstern. An ihm nimmt man fast gar keine Bewegung wahr, sondern er scheint für das bloße Auge unbeweglich in gleicher Höhe über dem Horizonte zu verharren. Je weiter sich aber die Sterne von ihm entfernen, desto größer werden die von ihnen durchlaufenen Kreise, bis diese in etwa 90° Entfernung das Maximum der Größe erreichen. Außerdem bemerkt man an vielen Sternen des nördlichen Himmels, unter andern auch an den genannten 7 Sternen des großen Bären, daß sie nie unter den Horizont treten, sondern ihren ganzen Tagkreis über demselben vollenden, während am südlichen Himmel die sichtbaren Sterne auf- und untergehen. Die nie untergehenden Sterne nennt man Circumpolarsterne.

3. **Himmelsachse und Himmelspole.** Die Bewegung aller Sterne gestaltet sich gerade so, als ob die ganze Himmelskugel mit allen ihren Gestirnen sich täglich einmal um einen ihrer Durchmesser schwänge. Dieser Durchmesser der Himmelskugel wird die Himmels- oder Weltachse, und ihre beiden Endpunkte werden die Himmels- oder Weltpole genannt, welche letzteren wieder als Nord- und Südpol unterschieden werden. In unsern Breiten liegt der Nordpol über dem Horizonte. Der Polarstern steht ihm sehr nahe und ist nur $1\frac{1}{2}$° von ihm entfernt.

4. **Betrachtung einer rotirenden Kugel.** Die näheren Verhältnisse, welche durch die scheinbare Achsendrehung oder Rotation (*rota*, das Rad) der Himmelskugel für die einzelnen Sterne eintreten, kann man sich leicht an irgend einer Kugel, die um eine Achse drehbar ist, veranschaulichen. Zwei Punkte der Oberfläche einer rotirenden Kugel, nämlich die beiden Endpunkte der Drehungsachse oder die beiden Pole derselben, nehmen an der Drehung nicht theil; alle andern Punkte aber durchlaufen Kreise, die mit einander parallel laufen. Diese Kreise haben eine ungleiche Größe. Je weiter sie sich von den Polen entfernen, desto größer werden sie, bis sie endlich genau in der Mitte zwischen den beiden Polen zu einem größten Kreise der Kugel werden. Dieser Kreis ist in allen seinen Punkten von jedem Pole 90° entfernt, und seine Ebene theilt die Kugel in zwei Halbkugeln. Kreise, welche gleich weit von diesem größten Kreise entfernt sind, haben eine gleiche Größe, so daß also je zwei Parallelkreise der rotirenden Kugel einander gleich sind.

5. **Anwendung auf den Himmel.** Dieselben Verhältnisse treten für die Sterne der rotirenden Himmelskugel ein. Ein Stern, der in einem der Pole steht, kann seinen Stand am Himmel nicht ändern, falls die Himmelsachse dieselbe Lage beibehält. Alle andern Sterne durchlaufen in etwa 24 Stunden Kreise, die mit einander parallel laufen, aber von ungleicher Größe sind. Je näher ein Stern einem der Pole steht, desto kleiner ist sein Tagkreis; je weiter er sich von dem Pol entfernt, desto größer wird jener Kreis. Sterne, die gleich weit von den Polen entfernt sind, durchlaufen gleiche Tagkreise.

6. **Himmelsäquator, nördliche und südliche Halbkugel.** Eine aufmerksame Beobachtung der Bewegung der Sterne läßt das Gesagte deutlich erkennen. Der größte Kreis liegt in der Mitte zwischen den beiden Polen, also 90^0 von diesen entfernt; er heißt der Himmels- oder Weltäquator und theilt die Himmelskugel in 2 gleiche Theile, in die nördliche und die südliche Halbkugel.

7. **Verschiedene scheinbare Geschwindigkeit der Sterne.** Alle Sterne am Himmel vollenden ihre Tagkreise in derselben Zeit von 24 Std.; da aber diese Kreise von ungleicher Größe sind, so muß auch die Geschwindigkeit der Sterne verschieden sein; sie muß mit den Kreisen von den Polen zum Aequator nothwendig zunehmen. Die größte Geschwindigkeit müssen diejenigen Sterne besitzen, welche 90^0 von den Polen entfernt sind oder in dem Aequator stehen.

Eine einfache Rechnung lehrt, wie groß die Ortsveränderung eines Sternes in einer bestimmten Zeit ist. In 24 Std. vollendet jeder Stern einen ganzen Kreis oder 360^0, mithin in 1 Std. $\frac{360^0}{24} = 15^0$, in 1 Min. also $\frac{15^0}{60} = \frac{1^0}{4} = 15'$. Zu je 1^0 ist folglich eine Zeit von 4 Minuten erforderlich. In gleichen Zeiten ändern alle Sterne ihren Ort um gleich viel Grade; diese Grade nehmen aber mit den Kreisen von den Polen nach dem Aequator hin an Größe zu. Will man daher die Bewegung der Sterne in der kürzesten Zeit möglichst merklich wahrnehmen, so muß man Sterne aufsuchen, die in dem Aequator oder in der Nähe desselben stehen. Ueber die genauere Lage dieses wichtigen Kreises wird bald das Nähere mitgetheilt werden.

Viertes Kapitel.

Vorbereitung zu einer specielleren Betrachtung der scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper.

Nach der oberflächlichen Betrachtung der Bewegung von Sonne, Mond und Sternen wollen wir zu einer genaueren Beobachtung derselben übergehen. Um aber dafür die rechte Grundlage zu gewinnen, schicken wir noch Folgendes voraus.

1. **Mittagskreis und Mittagslinie.** Die Culminationen sämtlicher Gestirne erfolgen in einem Scheitelkreise, der durch die beiden Pole des Himmels geht. Da die Sonne, als das für uns wichtigste Gestirn, zu Mittage in diesem Kreise steht, so hat man ihn den Mittagskreis oder Meridian (*meridies*, Mittag) genannt. Anstatt also zu sagen: die Sonne culminirt, kann auch gesagt werden: sie (eigentlich ihr Mittelpunkt) steht in dem Meridian.

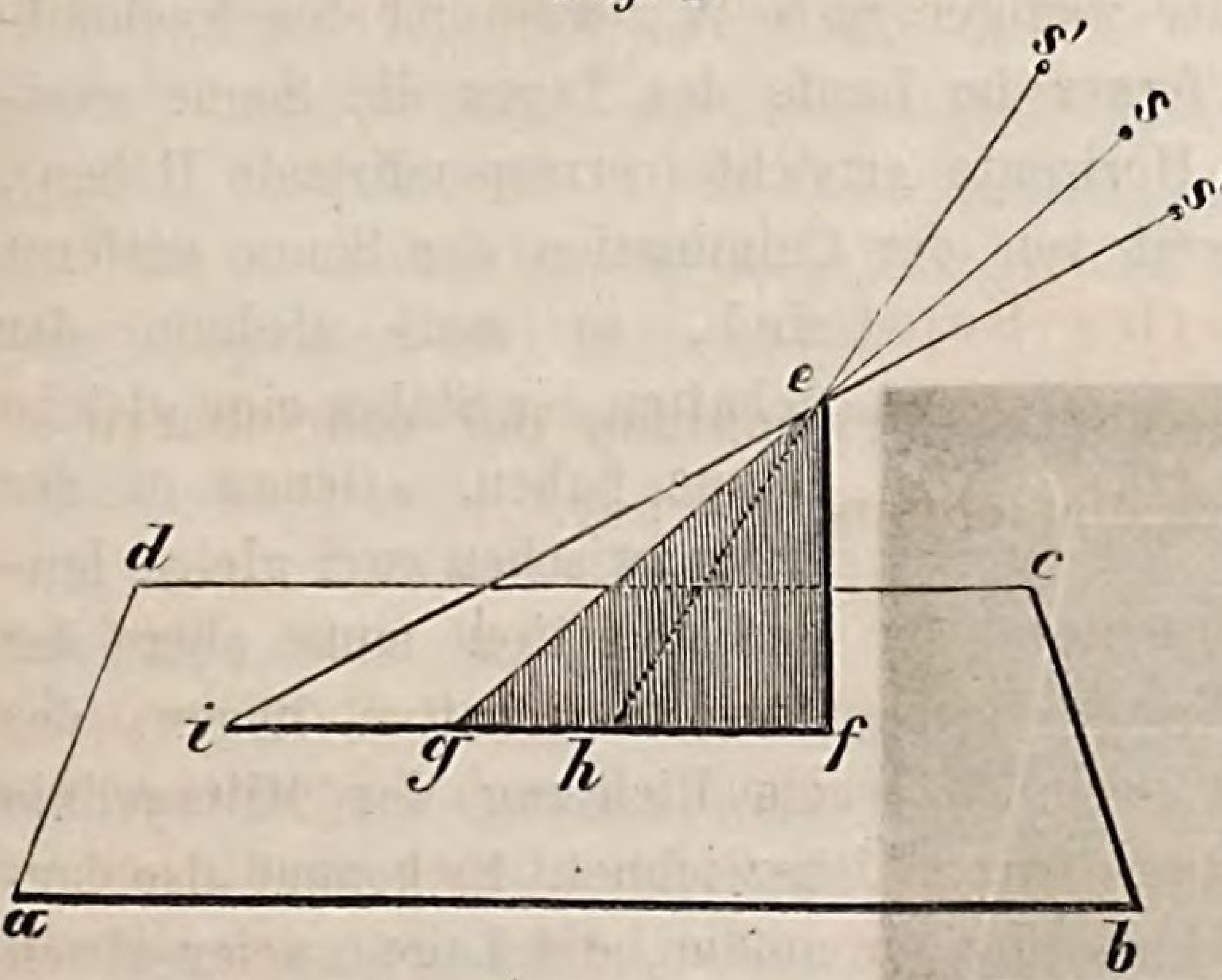
Die Ebene des Meridians steht, weil er ein Scheitelkreis ist, senkrecht auf der Ebene des Horizontes und schneidet diesen in einer geraden Linie, die durch den Standpunkt geht und den Horizont halbirt. Diese gerade Linie wird die Mittagslinie genannt. Mittagskreis und Mittagslinie sind also

zwei von einander zu unterscheidende Begriffe. Denn nach dem Gesagten ist der Mittagskreis der Scheitelkreis, welcher durch die beiden Pole geht (also ein Kreis am Himmel), und die Mittagslinie die Durchschnittslinie der Ebene des Mittagskreises mit der Ebene des Horizontes (mithin eine Linie auf der Erde). Da jeder Ort sein eigenes Zenith hat, so hat auch jeder seinen eigenen Meridian und seine eigene Mittagslinie. Beide sind genau von S. nach N. gerichtet. Dadurch erhalten sie eine besondere Wichtigkeit, indem man durch sie eine mathematische Grundlage für die Himmelsgegenden gewinnen kann. Wir wollen darum bei ihnen noch verweilen und ein Verfahren andeuten, durch welches man im stande ist, auf einfache Weise die Lage der Mittagslinie genau zu bestimmen.

2. **Verschiedene Länge des Schattens eines Gegenstandes.** Jeder Körper, der von einem Lichte beleuchtet wird, hindert die ihn treffenden Lichtstrahlen mehr oder weniger, den hinter ihm liegenden Raum zu erhellen, und so entsteht, dem Licht abgewendet, ein dunkler Raum, welcher der Schatten des Körpers heißt. Dieser dunkle Raum stellt sich auf einer hellen Fläche mehr oder weniger deutlich als ein Bild des Gegenstandes dar, und im gewöhnlichen Leben pflegt man dieses Bild oder die Schattenfigur den Schatten zu nennen. Aus der Entstehungsweise des Schattens folgt von selbst, daß auch das Schattenbild dem erleuchtenden Körper abgekehrt ist.

Es sei, *Fig. 4*, *a b c d* eine von der Sonne erhellte horizontale Fläche, in welcher ein Stab *e f* senkrecht errichtet ist. Steht die Sonne in *s*, so hat der Schattenraum die Gestalt des Dreiecks *e f g*, und *f g* ist in diesem Falle die auf der Fläche sich als ein dunkler Strich darstellende Schattenfigur. Stände die Sonne in *s'*, also höher, so wäre sowohl der Schattenraum *e f h*, als auch die Schattenfigur *f h* kleiner als vorher. Befände sich hingegen die Sonne in *s''*, also niedriger, so wäre der Schattenraum *e f i* und die Schattenfigur *f i* größer als im ersten Falle. Man sieht also, daß die Länge des Schattens von der Höhe der Sonne abhängig ist: Je höher die Sonne, desto kürzer, je tiefer die Sonne, desto länger der Schatten eines senkrechten Stabes. Bei gleicher Sonnenhöhe muß der Stab auch gleich lange Schatten werfen, und beim höchsten Sonnenstande muß der Schatten am kürzesten sein.

Fig. 4.

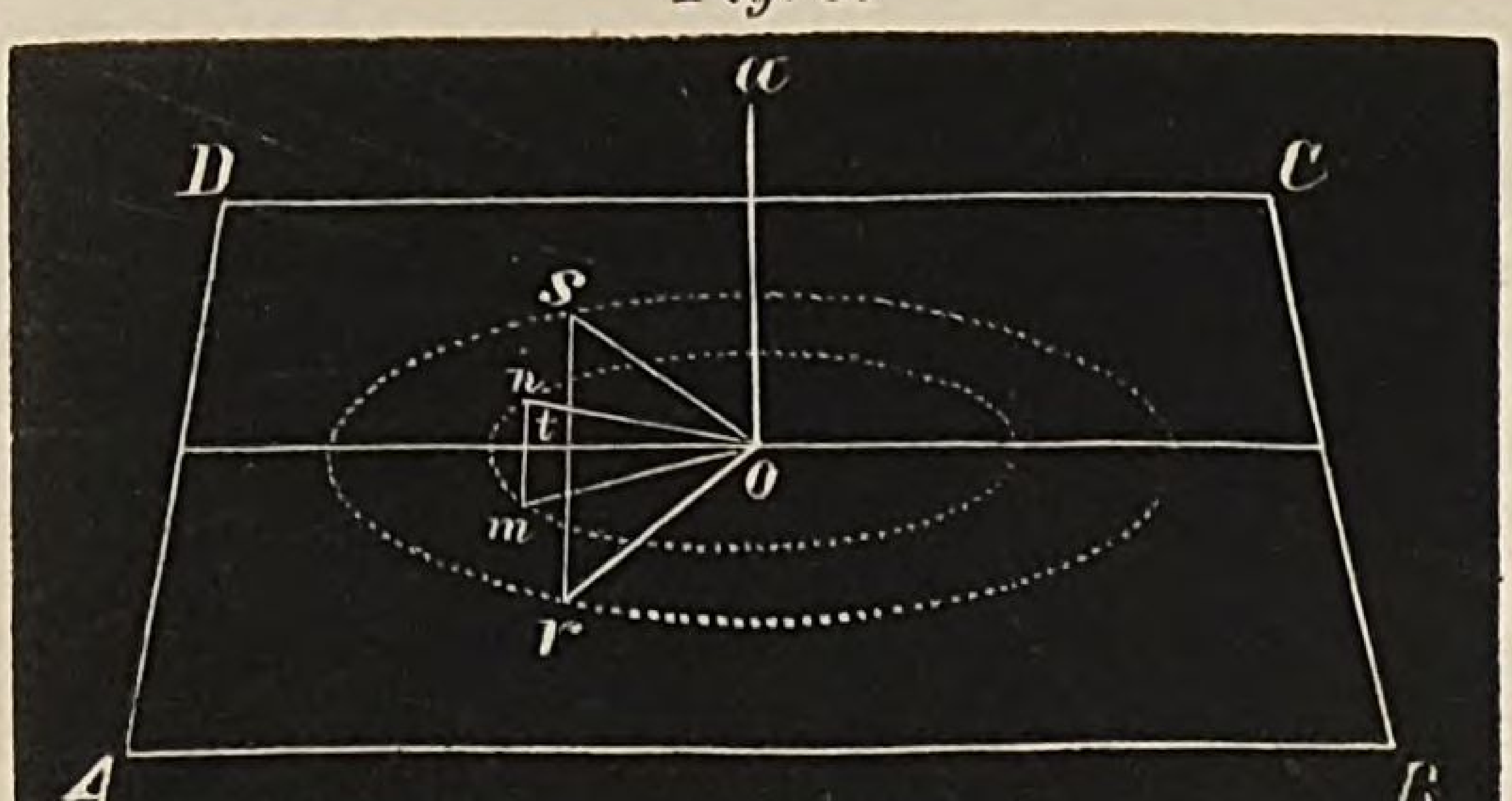


Da im Laufe des Vormittags die Höhe der Sonne zu-, während des Nachmittags aber abnimmt, so muß sich in ersterer Zeit der Schatten eines senk-

rechten Stabes verkürzen, in letzterer Zeit hingegen fortwährend verlängern. Zur Zeit des höchsten Sonnenstandes, am Mittage, muß der Schatten am kürzesten sein. Dieser kürzeste Schatten muß, da die Sonne genau nach Süden steht, genau nach Norden gerichtet sein, und daher die Richtung der Mittagslinie haben. Wäre man demnach im stande, genau den Augenblick der Culmination der Sonne, oder den Moment, in welchem der Schatten am kürzesten ist, zu bestimmen, so wäre es ein Leichtes, die Richtung der Mittagslinie anzugeben. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen haben indessen jene Bestimmungen mancherlei Schwierigkeiten. Einmal ist nicht immer eine gute, ganz richtig gehende Uhr zur Hand, und wenn dies selbst der Fall wäre, so zeigt eine solche Uhr nur zu einigen bestimmten Zeiten des Jahres dann Mittag 12 Uhr, wenn auch nach der Sonne Mittag ist, d. h. wenn sie in ihrer oberen Culmination steht; außerdem ist es sehr schwer, mit einiger Zuverlässigkeit den Moment des kürzesten Schattens zu bestimmen, da seine Länge zur Mittagszeit sich nur sehr unmerklich ändert. Die Schwierigkeiten werden indessen durch folgendes Verfahren ziemlich beseitigt.

3. **Verfahren, die Richtung der Mittagslinie zu bestimmen.** Man nehme ein ebenes Brett, *ABCD*, *Fig.* 5, ziehe in der Ebene desselben von einem Punkte *o* als Mittelpunkt mehrere concentrische Kreise*), errichte in *o* einen senkrechten Stift *oa*, und bringe darauf das Brett mittelst einer Setzwage oder einer Libelle in eine horizontale Lage. Hierauf beobachte man an einem sonnenhellen Tage den Schatten des errichteten Stabes. Während des Vormittags wird derselbe mehr oder weniger nach W., während des Nachmittags nach O. gerichtet sein. Da ferner im Laufe des Tages die Sonne zweimal eine gleiche Höhe über dem Horizonte erreicht (correspondirende Höhen), und zwar zu Zeiten, die gleich weit von der Culmination der Sonne entfernt sind, so muß alsdann der Schatten des Stabes eine gleiche Länge haben. Genau in der Mitte zwischen zwei gleich langen Schatten muß aber der kürzeste Schatten liegen, der die Richtung der Mittagslinie bezeichnet. Es kommt also darauf an, die Lage zweier gleich langen Schatten zu bestimmen; dies wird aber durch die gezogenen Kreise leicht möglich, da die Halbmesser oder Radien eines Kreises gleich groß sind.

Fig. 5.



Angenommen, der Schatten des Stabes *oa* fiele gegen 11 Uhr vormittags in die Richtung *om*, und sein Endpunkt *m* in die Peripherie des kleinsten Kreises; angenommen ferner, gegen 1 Uhr nachmittags sei *on* die Richtung

*) Concentrische Kreise sind solche Kreise, die denselben Mittelpunkt haben.

des Schattens und *n* der Endpunkt desselben in demselben Kreise: so muß, wenn man *m* mit *n* verbindet und die Linie *mn* in *t* halbirt, die Linie *ot* und ihre Verlängerung bis zum Horizonte die Richtung der Mittagslinie bezeichnen. Da es aber etwas schwierig ist, den Endpunkt des Schattens, weil sich derselbe stets verwaschen zeigt, genau zu bestimmen, so thut man wohl, mehrere gleich lange Schatten, wie in der *Fig.* noch *or* und *os*, zu verschiedenen Tagesstunden zu verzeichnen und dann wie oben zu verfahren, um auf diese Weise eine Beobachtung durch die andere berichtigen zu können, indem man das Mittel aus den einzelnen Beobachtungen nimmt. Aus später noch klar werdenden Ursachen giebt dieses Verfahren am 21. Juni und am 21. Dezember die richtigsten Resultate.

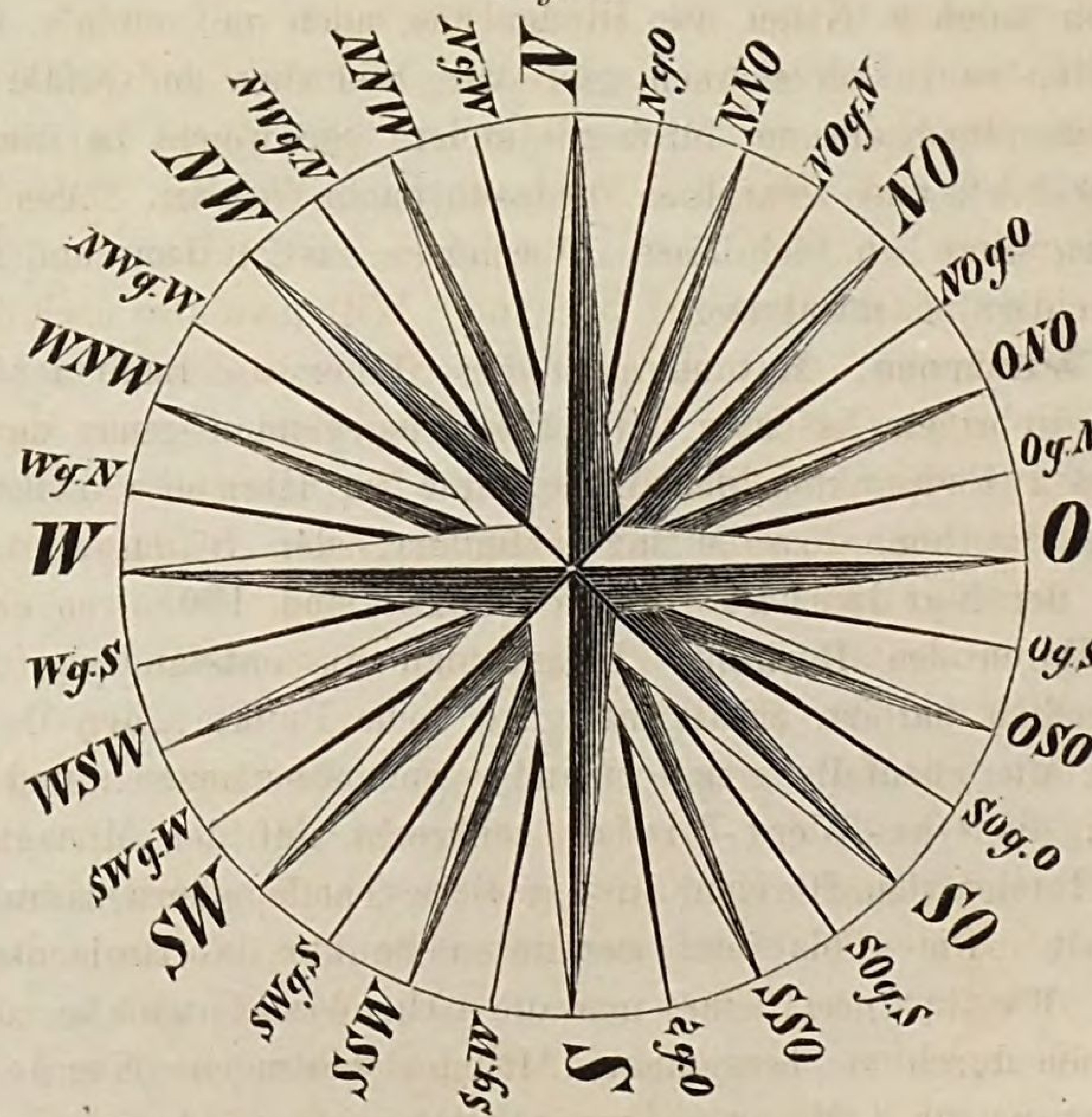
4. **Die Windrose.** Hat man auf diese Weise die Lage der Mittagslinie gefunden, so ist es ein Leichtes, alle Himmelsgegenden genau zu bestimmen. Von den beiden Endpunkten der Mittagslinie im Horizonte heißt derjenige, über welchem die Sonne zu Mittag culminirt, der Südpunkt, der entgegengesetzte der Nordpunkt. Beide Punkte sind 180° von einander entfernt und halbiren den Horizont. Indem man die entstandenen Hälften des Horizonts ebenfalls halbirt, erhält man zwei neue Punkte, den Ost- und den Westpunkt, die ebenfalls genau einander gegenüberliegen, und deren Verbindungslinie, die Ost-West-Linie, senkrecht auf der Mittagslinie steht. Beide Linien theilen den Horizont in 4 gleiche Theile oder Quadranten, deren jeder 90° zählt. Die 4 bis jetzt genannten Punkte des Horizontes: Nord-, Süd-, Ost-, Westpunkt, nennt man die 4 Cardinalpunkte, d. i. Angelpunkte, und die durch sie bezeichneten Himmelsgegenden: Norden, Süden, Osten, Westen, die 4 Haupthimmelsgegenden. Aus der angegebenen Lage der 4 Cardinalpunkte folgt, daß jeder derselben von den beiden ihm zunächst liegenden 90° entfernt ist.

Halbirt man die Bogen zwischen je zwei Cardinalpunkten, so findet man dadurch die Punkte für die sogenannten ersten Nebengegenden: Nordost, Südost, Nordwest, Südwest, die mithin 45° von den entsprechenden Cardinalpunkten entfernt sind. Bei der Namengebung werden Nord und Süd als die Gegenden, von denen man ausgeht, vorangestellt. Durch abermaliges Halbiren der entstandenen Achtelkreise oder Octanten findet man die Punkte für die zweiten Nebengegenden. In Beziehung auf die Namengebung bei denselben ist zu bemerken, daß die Namen der entsprechenden Haupt-Himmelsgegenden denen der Nebengegenden stets vorangehen. Es heißen demnach die 8 zweiten Nebengegenden: Nord-Nordost, Ost-Nordost, Ost-Südost, Süd-Südost, Süd-Südwest, West-Südwest, West-Nordwest, Nord-Nordwest. Die Punkte für dieselben liegen von den entsprechenden Cardinalpunkten und denen der ersten Nebengegenden $22\frac{1}{2}°$ entfernt.

Für die meisten Fälle reichen diese 16 Himmelsgegenden aus. Für die Schiffahrt indessen pflegt man die Theilung des Horizontes noch weiter fortzusetzen und noch dritte Nebengegenden anzunehmen. Doch vermeidet man

bei der Benennung derselben die vierfache Zusammensetzung der Wörter, sagt also z. B. nicht: Nord-Nord-Nordost u. s. w., sondern: Nord gen Ost, Nordost gen Nord, Nordost gen O., Ost gen Nord u. s. w. Auf diese Weise entsteht die 32 Himmelsgegenden zählende Windrose, wie sie *Fig. 6* darstellt.

Fig. 6.



Auf großen Seeschiffen findet man stets eine in einer Kapsel eingeschlossene Windrose, über welcher eine Magnetnadel auf einer Spitze sich drehen kann; man nennt diese eigenthümlich aufgehängte Vorrichtung einen Compaß. Er befindet sich gewöhnlich auf dem Hintertheil des Schiffes bei dem Steuerruder, damit man nach ihm den Lauf des Schiffes bestimme.

5. **Mittel zur Orientirung.** Um sich auf der Erde zurechtzufinden oder sich zu orientiren, ist es nöthig, die Himmelsgegenden bestimmen zu können, und es ist dies eine Aufgabe, deren Lösung im gewöhnlichen Leben oft von uns gefordert wird; wir wollen deshalb das Nöthigste darüber, so weit das Bisherige dazu Veranlassung giebt, hier noch kurz erwähnen. *Oriens* heißt eigentlich Morgen, und sich orientiren so viel, als den Aufgangspunkt der Sonne, d. i. Morgen oder Osten finden. Ist man aber im stande, eine der 4 Himmelsgegenden zu bestimmen, so hat man damit alle gefunden. Am leichtesten ist die Bestimmung der Gegenden Süden und Norden.

Wo sich's um Genauigkeit handelt, gewährt das oben angegebene Verfahren, die Richtung der Mittagslinie zu finden, ein sicheres und zugleich leicht ausführbares Mittel der Orientirung.

Die Magnetnadel. Ein bequemeres Mittel bietet die Magnetnadel.

Man erhält dergleichen, in passende Kapseln eingeschlossen, so daß man sie in der Tasche tragen kann, oft schon für einige Groschen. Bekanntlich weiset eine magnetisch gemachte Stahlnadel mit ihren Enden beständig nach Norden und Süden. Bei uns achtet man gewöhnlich auf das sogenannte Nordende, in China hingegen auf das Südende derselben (Nordweisung und Südweisung). Wer mit Hilfe einer solchen Nadel die Himmelsgegenden mit einiger Genauigkeit bestimmen will, muß sich merken, daß die Richtung der Nadel in unseren Gegenden nicht genau die der Mittagslinie ist. Sie weicht bei uns im Jahre 1869 ungefähr 13 °, und zwar das Nordende nach W., das Südende nach O., von der Mittagslinie ab.*) Diese Abweichung ist unter dem Namen der Deklination der Magnetnadel bekannt. Will man also nach der Magnetnadel Norden bestimmen, so muß man vom Nordende derselben 13 ° nach O. herumzählen. Uebrigens ist man im stande, aus jedem eisernen oder stählernen Stäbchen, etwa aus einer Stricknadel, sich eine Magnetnadel anzufertigen; man hat nämlich nur nöthig, dieselbe mit einem Magneten in angemessener Weise zu streichen. Befestigt man dann die Nadel an einem Faden, so daß dieselbe, schwebend, eine horizontale Lage annehmen kann, so stellt sie sich ebenfalls nahezu in die Richtung der Mittagslinie.

Betrachtung des Polarsternes. Wenn die zuerst angegebene Weise der Orientirung sich besonders bei Tage anwenden läßt, so gewährt der gestirnte Himmel in der Nacht ebenfalls ein Mittel, sich zu orientiren. Es steht nämlich der sogenannte Polarstern ziemlich nahe dem Nordpole des Himmels, und wer ihn anschaut, sieht fast genau nach Norden und kann dann alle übrigen Himmelsgegenden bestimmen. Auf ihn achten besonders die Schiffer auf dem weiten Ocean, um, von ihm geleitet, den Lauf des Fahrzeuges zu richten; sie nennen ihn bezeichnend den Leitstern. Wie derselbe durch die 7 Hauptsterne des großen Bären gefunden wird, ist bereits angegeben worden.

Es ist sehr zu empfehlen, die besprochenen Mittel der Orientirung selbst anzuwenden; denn einmal thun ist besser, als vielmal hören oder lesen.

6. **Verbindung später gewonnener Resultate mit dem Früheren.** Im Laufe der Betrachtung sind einige neue Vorstellungen gewonnen worden; es ist gut, sie mit den früheren in Verbindung zu bringen:

Die Scheitellinie steht senkrecht auf der Mittagslinie und auf der Ost-Westlinie.

Der durch den Ost- und Westpunkt gehende Vertikalkreis heißt der erste Vertikalkreis. Er durchschneidet den Meridian im Zenithe rechtwinklig und theilt den sichtbaren Himmel in den südlichen und nördlichen; der Meridian dagegen theilt ihn in den östlichen und westlichen Himmel.

*) Die Deklination der Magnetnadel war nach Beobachtungen auf der hiesigen Sternwarte Mitte 1865 = 13° 29′, 1866 = 13° 21′, 1867 = 13° 13′, 1868 = 13° 5′, 1869 = 12° 57′, und wird betragen Mitte 1870 = 12° 49′, 1871 = 12° 41′, 1872 = 12° 33′, 1873 = 12° 26′, 1874 = 12° 18′, 1875 = 12° 11′.

Fünftes Kapitel.

Lage der Himmelsachse und der Parallelkreise zum Horizonte (von Berlin).

Aus der oben angegebenen Entstehungsweise des Aequators und der mit ihm gleichlaufenden Kreise durch die Achsendrehung ergiebt sich von selbst, daß die Achse mit der Ebene des Aequators und der aller übrigen Parallelkreise stets rechte Winkel bilden muß. Da diese Lage eine unveränderliche ist, so muß die Lage aller jener Kreise zum Horizonte von der Lage der Achse zum Horizonte abhängig sein.

1. **Wie die Achse nicht liegt.** Angenommen, die Himmelsachse stände senkrecht auf der Ebene des Horizontes, so daß sie also mit der Scheitellinie, und der Pol (wir wollen annehmen der Nordpol) mit dem Zenithe zusammenfiele; so müßte offenbar, da der Horizont die Himmelskugel halbirt, die ganze nördliche Halbkugel der letzteren über dem Horizonte sich befinden, und da diese durch den Aequator von der südlichen geschieden wird, der Aequator selber mit dem Horizonte zusammenfallen. Alle Sterne müßten dann aber Tagkreise beschreiben, die, weil mit dem Aequator, auch mit dem Horizonte parallel liefen. Von einem Auf- und Untergange der Gestirne könnte bei einer solchen Lage der Tagkreise nicht die Rede sein; vielmehr müßten alle Sterne der nördlichen Halbkugel stets über dem Horizonte verweilen, oder es müßten alle sichtbaren Sterne Circumpolarsterne sein.

2. **Wie die Achse liegt.** Nach dem aber, was wir bereits über die Bewegung der Sterne und die Lage ihrer Tagkreise zum Horizonte wissen, kann bei uns die Achse eine senkrechte Lage zum Horizonte nicht haben; vielmehr muß sie schief auf demselben stehen, da die Tagkreise aller Sterne schief gegen den Horizont liegen. Es entsteht also nur die Frage: Wie schief steht die Achse des Himmels auf dem Horizonte (von Berlin)?

Da man die beste Einsicht in eine Sache gewinnt, wenn man sie entstehen sieht, so wollen wir die Lage der Himmelsachse zu unserm Horizonte vor unserm geistigen Auge entstehen lassen, und dabei von der vorhin erwähnten senkrechten Lage der Achse ausgehen. Es fällt bei dieser Lage der Nordpol mit dem Zenithe, der Südpol also mit dem Nadir zusammen; beide Punkte sind dann also 90° vom Horizonte entfernt. Der Himmelsäquator aber liegt ganz in dem Horizonte.

Neigt man nun in Gedanken die Himmelsachse in der Ebene des Meridians, wir wollen annehmen 10°, nach N., so steht sie offenbar nicht mehr senkrecht auf der Ebene des Horizontes, sondern macht mit derselben, und zwar mit der Mittagslinie, einen Winkel von 80°. Diesen Winkel, oder was dasselbe ist, den Bogen des Meridians vom Horizonte (Nordpunkt) bis zum Nordpol nennt man die Polhöhe. Die Polhöhe ist also der (Neigungs-) Winkel, den die Himmelsachse mit dem Horizonte macht. Sie wäre in unserm Falle gleich 80°. Von der Scheitellinie aber wiche nun die Himmelsachse um einen

Winkel von 10° ab, und diesen Winkel pflegt man die Zenith-Distanz des Poles zu nennen. Sie wird gemessen durch den Bogen des Meridians zwischen dem Zenithe und dem Pole. Wie viel der Pol sich vom Zenithe entfernt oder sich geneigt hat, um so viel muß sich der Aequator von S. her über den Horizont gehoben haben. In unserm Falle muß also der Aequator mit dem Horizonte einen Winkel von 10° machen. Der Winkel, den der Aequator mit dem Horizonte macht, wird die Aequatorhöhe genannt. Sie wird stets gemessen durch den Bogen des Meridians, der vom Horizonte (Südpunkt) bis zum Aequator hinaufreicht.

Vom Zenithe muß der Aequator unter obiger Annahme $90^0 - 10^0 = 80^0$ entfernt sein, und diesen Abstand des Aequators vom Zenithe nennt man die Zenith-Distanz des Aequators. Sie kann auch als der Winkel aufgefaßt werden, den der Aequator mit der Scheitellinie bildet, und der durch den Bogen des Meridians zwischen dem Aequator und dem Zenithe gemessen wird. Daß für die unter dem Horizonte liegenden entsprechenden Winkel dasselbe Größenverhältnis stattfindet, versteht sich von selbst.

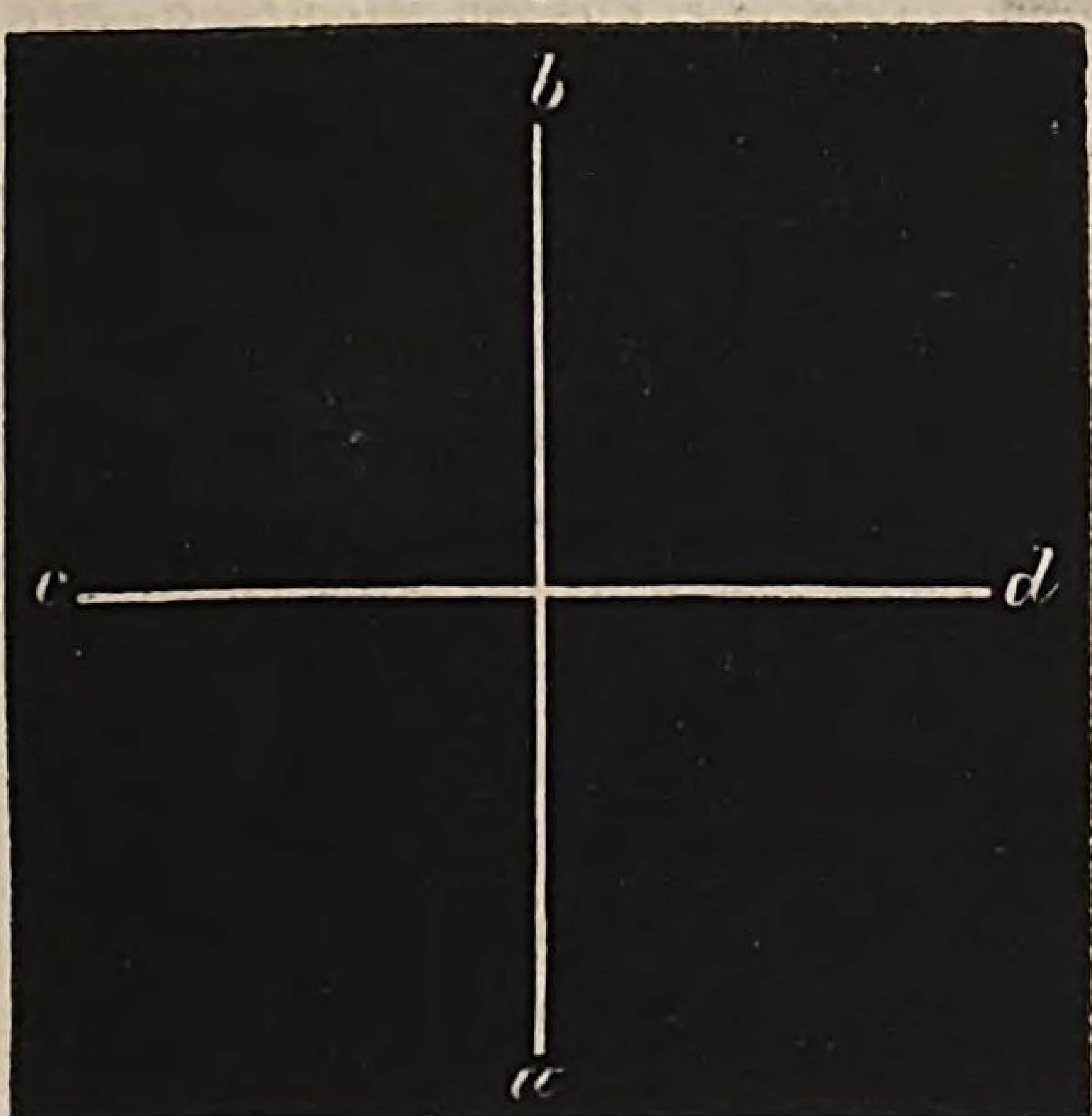
Fassen wir das eben Gesagte zusammen! In dem Meridian haben wir 4 Größen kennen gelernt, und zwar, von N. nach S. gezählt: 1) die Polhöhe, 2) die Zenith-Distanz des Pols, 3) die Zenith-Distanz des Aequators, 4) die Aequatorhöhe, und in Beziehung auf sie gelten, wie aus der Art der Entstehung klar geworden sein wird, folgende Sätze:

1) Die Polhöhe ist gleich der Zenith-Distanz des Aequators; 2) die Aequatorhöhe ist gleich der Zenith-Distanz des Pols.

Diese Sätze sind ganz allgemein, und die Einsicht in dieselben ist für die Auffassung der scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper wichtig.

3. **Lage der Himmelsachse für Berlin.** Um die Lage der Himmelsachse für Berlin zu erhalten, muß man sich dieselbe aus der senkrechten Lage um einen Winkel von $37\frac{1}{2}{}^0$ nach N. geneigt denken. Nach dem Obigen ist demnach die Polhöhe $= 90^0 - 37\frac{1}{2}{}^0 = 52\frac{1}{2}{}^0$, und eben so groß die Zenith-Distanz des Aequators; die Aequatorhöhe aber ist $= 37\frac{1}{2}{}^0$, und von derselben Größe die Zenith-Distanz des Pols. Es machen mithin alle Parallelkreise des Himmels, die von den Sternen durchlaufen werden, mit dem Horizonte von Berlin einen Neigungswinkel von $37\frac{1}{2}{}^0$, und dieser Winkel ist nach S. gerichtet.

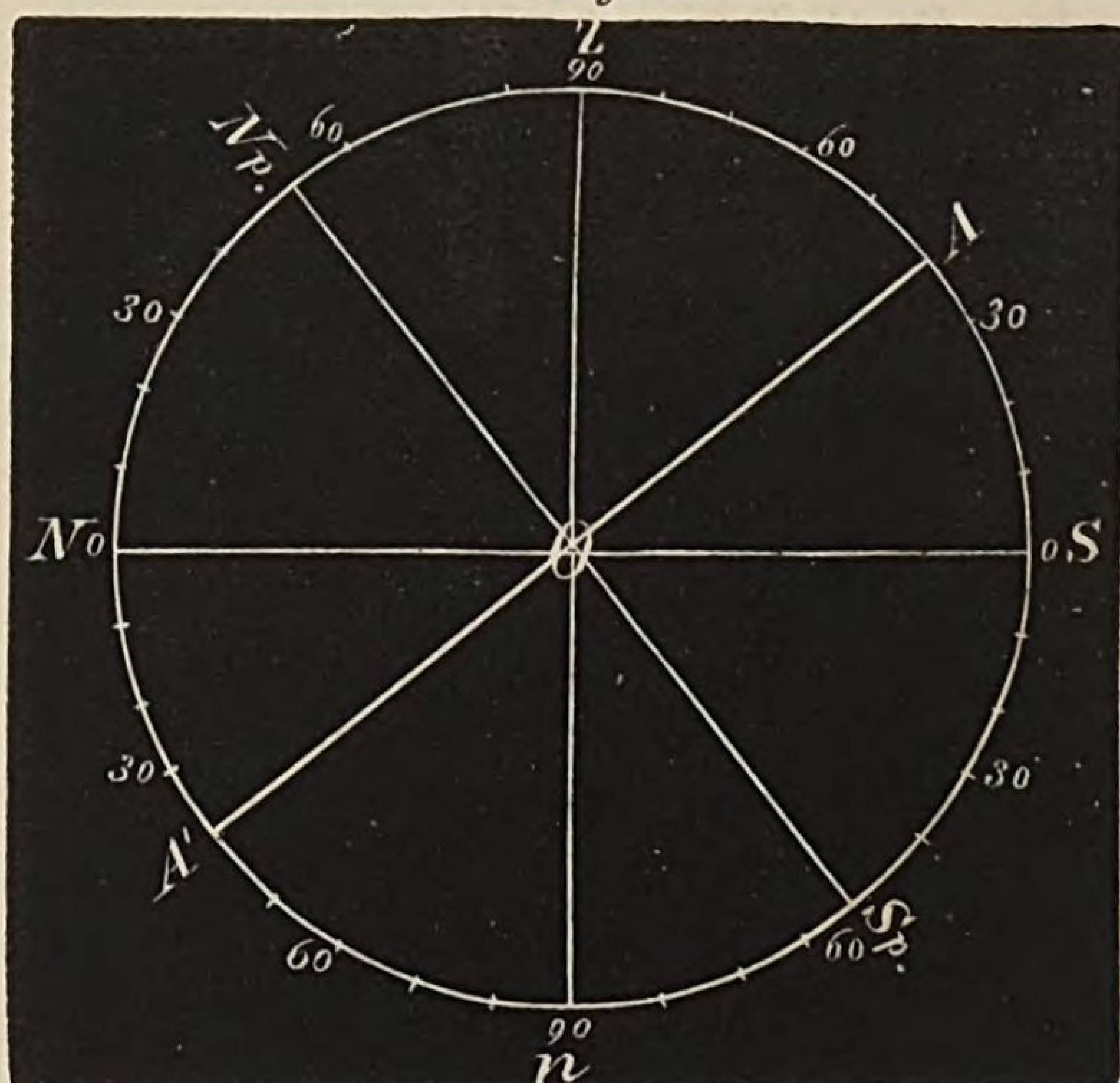
Fig. 7.



4. **Veranschaulichung.** Zur Veranschaulichung des Gesagten kann man mit Nutzen eine kreisrunde Pappscheibe anwenden, deren Umkreis in

360° getheilt worden ist, und auf der man zwei sich rechtwinklig durchschneidende Durchmesser gezeichnet hat, deren einer die Vertikallinie, und deren anderer den Horizont vorstellt. Um die Entstehung der in Rede stehenden Winkelgrößen erkennen zu lassen, befestige man in dem Mittelpunkte der Pappscheibe 2 in Form eines Kreuzes senkrecht auf einander stehende Stäbe, wie in *Fig. 7*, so daß sie im Mittelpunkte drehbar sind. Der eine der Stäbe soll die Achse, der andere den Aequator andeuten. Bringt man nun den die Achse vorstellenden Stab, etwa *a b*, in die Richtung der Vertikallinie, so fällt der andere als Aequator mit dem Horizonte zusammen. Neigt man aber die Achse *a b* um einen Winkel von 37½° aus der senkrechten Lage heraus, so erhält man die Lage der Achse und des Aequators für den Horizont von Berlin. Es würde das Ganze dann etwa das Ansehen der *Fig. 8* haben. In derselben ist *S N* (Süd- und Nordpunkt) der Horizont und in demselben *O* der Standpunkt. Die Linie *z n* ist die Scheitellinie, Punkt *z* das Zenith und *n* das Nadir. Die Linie *Np Sp* ist die Weltachse mit dem Nord- und dem Südpole, und *A A'* der Himmelsäquator. Es ist daher Winkel *N O Np* die Polhöhe, gemessen durch den Bogen *N Np*, = 52½°; Winkel *Np O z* die Zenith-Distanz des Pols, gemessen durch Bogen *Np z*, = 37½°; Winkel *S O A* die Aequatorhöhe, gemessen durch Bogen *SA*, = 37½°, und Winkel *A O z* die Zenith-Distanz des Aequators, gemessen durch Bogen *A z*, = 52½°.

Fig. 8.



Wie leicht einzusehen, ergänzen sich je 2 der bezeichneten Winkel zu 90°, und wenn einer derselben bekannt ist, lassen sich alle übrigen leicht finden. Daß die entsprechenden Winkel unter dem Horizonte dieselbe Größe mit den oben angegebenen haben, ergiebt sich ebenfalls von selbst.

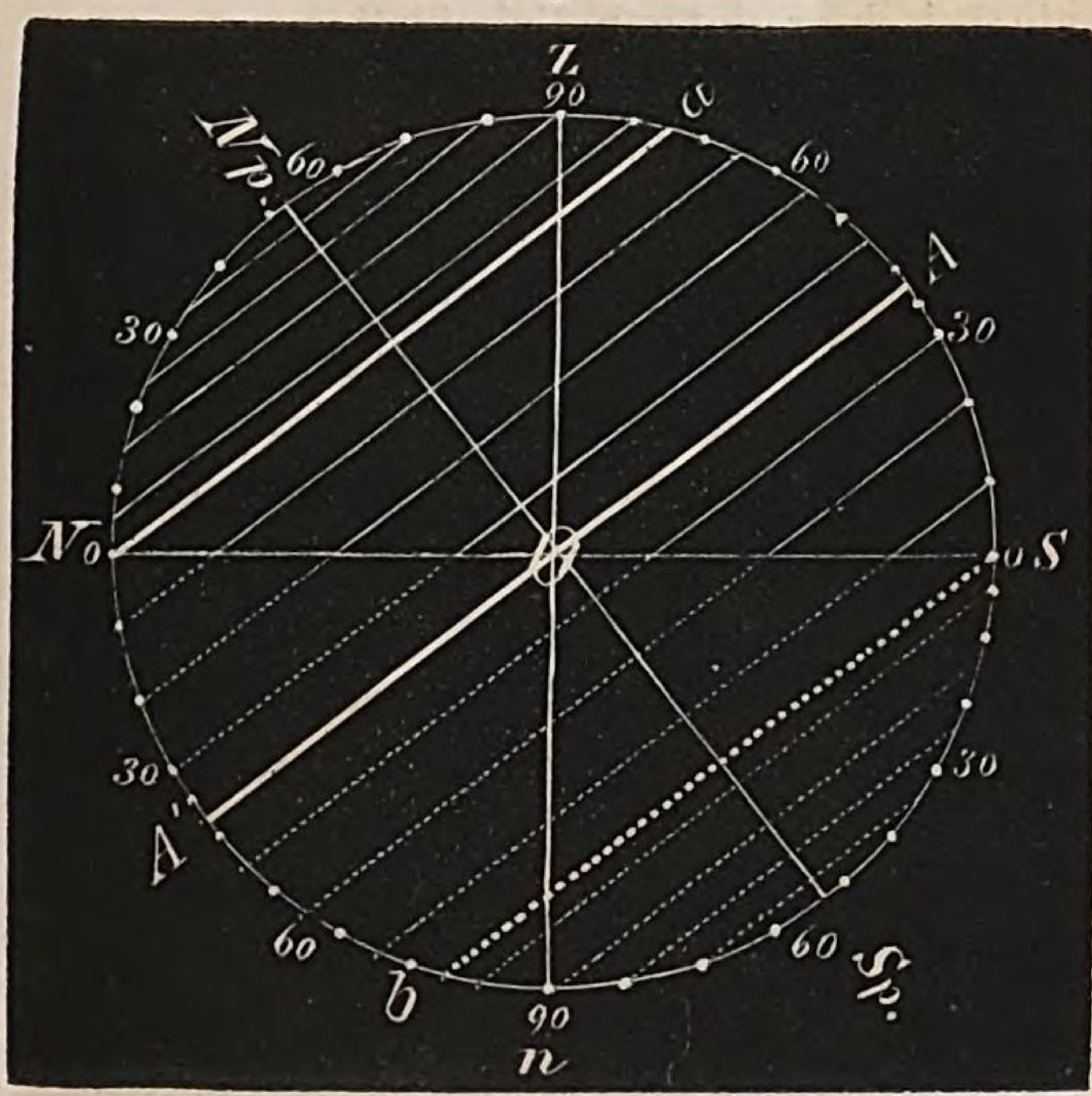
5. **Lage der von den Sternen durchlaufenen Tagkreise zum Horizonte.** Ist die Lage der Achse zum Horizonte klar aufgefaßt, so wird man sich auch eine richtige Vorstellung von der Lage der von den Sternen durchlaufenen Parallelkreise machen können.

Es muß am nördlichen Himmel Sterne geben, die, den Pol umkreisend, ihren ganzen Tagkreis über dem Horizonte vollenden, also nie untergehen, und zwar muß dies für alle Sterne gelten, die bis auf die Größe der Polhöhe, für Berlin also bis 52½°, vom Nordpol entfernt sind. Diese Sterne sind die schon genannten Circumpolarsterne (S. 9). Sterne, welche weiter als 52½° vom

Nordpol entfernt sind, müssen einen Theil ihres Tagkreises **unter** dem Horizonte vollenden, und zwar einen um so größeren, je weiter sie sich vom Nordpol entfernen. Nothwendigerweise muß es auch einen Kreis geben, der durch den Horizont halbirt wird, und dies kann kein anderer sein als der Aequator. Als ein größter Kreis wird er von dem Horizonte halbirt und von demselben im Ost- und Westpunkte geschnitten. Sterne also, welche 90° vom Nordpol entfernt sind, müssen als Tagkreis den Aequator durchlaufen, darum im Ostpunkte auf- und im Westpunkte untergehen, 12 Std. über und eben so lange unter dem Horizonte verweilen. Die Sterne hingegen, welche südlich vom Aequator stehen, müssen den größten Theil ihres Tagkreises unter dem Horizonte durchlaufen, und endlich muß es Sterne an der südlichen Halbkugel des Himmels geben, die gar nicht über den Horizont treten, und darum nie von uns gesehen werden.

6. **Veranschaulichung und Zusammenstellung der wichtigsten Sätze.** Die genauere Lage der einzelnen Parallelkreise des Himmels wollen wir uns an *Fig. 9* veranschaulichen. Sie ist wie *Fig. 8* construirt, und dieselben Buchstaben bezeichnen dieselben Größen; sie unterscheidet sich von ihr nur durch die hineingezeichneten Parallelkreise.

Fig. 9.



Der Aequator AA' wird als ein größter Kreis von dem Horizonte SN halbirt. Sein höchster Punkt A liegt $37^1/_2{}^0$ über, sein tiefster Punkt A' $37^1/_2{}^0$ unter dem Horizonte.

Von den Kreisen **nördlich** vom Aequator liegt mehr als die Hälfte über, weniger als die Hälfte unter dem Horizonte, bis in einer Entfernung von $37^1/_2{}^0$ nördlich der ganze Kreis über dem Horizonte liegt. Dieser Kreis Na scheidet also die auf- und untergehenden Sterne von den Circumpolarsternen, welche letztere zwischen ihm und dem Nordpol liegen.

Die Kreise **südlich** vom Aequator liegen zum kleineren Theile über, zum größeren Theile unter dem Horizonte, bis in einer Entfernung von $37^1/_2{}^0$ südlich der ganze Tagkreis unter dem Horizonte sich befindet.

In Beziehung auf die Bewegung der Sterne folgt aus dem Gesagten:

1) Nicht alle Sterne treten bei der Rotation der Himmelskugel über den Horizont, sondern diejenigen Sterne der südlichen Halbkugel, die weiter als

$37\frac{1}{2}^0$ südlich vom Aequator oder bis $52\frac{1}{2}^0$ vom Südpol entfernt sind, bleiben stets unsichtbar.

2) An der nördlichen Halbkugel des Himmels giebt es Sterne, die nie unter den Horizont sinken, und zwar sind dies alle diejenigen, die bis $52\frac{1}{2}^0$ vom Nordpol oder weiter als $37\frac{1}{2}^0$ nördlich vom Aequator entfernt sind: die genannten Circumpolarsterne. Sie haben beide Culminationen über dem Horizonte.

3) Die auf- und untergehenden Sterne stehen in einer Zone von $2 \times 37\frac{1}{2}^0 = 75^0$ Breite; es sind dies diejenigen Sterne, die bis $37\frac{1}{2}^0$ nördlich und südlich vom Aequator abstehen.

4) Alle Sterne, die den Aequator durchlaufen, gehen im Ostpunkte auf und im Westpunkte unter, verweilen 12 Std. über und ebenso lange unter dem Horizonte, und erreichen zur Zeit ihrer Culmination eine Höhe von $37\frac{1}{2}^0$.

5) Von den auf- und untergehenden Sternen gehen die nördlich vom Aequator stehenden nördlich vom Ostpunkte auf und nördlich vom Westpunkte unter. Ihre Höhe über dem Horizonte zur Zeit der oberen Culmination ist größer, als die Entfernung unter dem Horizonte bei der unteren Culmination.

6) Von den auf- und untergehenden Sternen gehen die südlich vom Aequator stehenden südlich vom Ostpunkte auf und südlich vom Westpunkte unter. Ihre Höhe über dem Horizonte zur Zeit der oberen Culmination ist kleiner, als die Entfernung unter dem Horizonte bei ihrer unteren Culmination.

7) Diejenigen Sterne, welche $37\frac{1}{2}^0$ nördlich vom Aequator oder $52\frac{1}{2}^0$ vom Nordpol entfernt sind, gehen im Nordpunkte des Horizontes auf und unter, d. h. sie gehen gar nicht unter.

8) Diejenigen Sterne, welche $37\frac{1}{2}^0$ südlich vom Aequator, vom Südpol also $52\frac{1}{2}^0$ entfernt sind, gehen im Südpunkte des Horizontes auf und unter, d. h. sie gehen gar nicht auf.

Auch durch Umkehrung mancher der vorstehenden Sätze ergeben sich wichtige neue Sätze*). So folgt z. B. aus 4: Ein Stern, der im Ostpunkte auf-, im Westpunkte untergeht, muß den Aequator durchlaufen.

Ferner: Wenn für einen Stern Tag- und Nachtbogen einander gleich sind, so muß er im Ostpunkte auf-, im Westpunkte untergehen und als Tagkreis den Aequator durchlaufen u. s. w.

*) Für den Unterricht ist es außerordentlich bildend, dergleichen Sätze aus bekannten ableiten zu lassen. Es kommt dadurch manches zum Bewußtsein, was, weil unausgesprochen, stets schlummern würde.

Zweiter Abschnitt.

Speciellere Betrachtung der scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper.

Erstes Kapitel.

Von der scheinbaren Bewegung der Sonne.

I. Jährlicher Lauf der Sonne.

Nachdem wir in dem Obigen die Lage der Achse, des Aequators und der übrigen Parallelkreise zum Horizonte kennen gelernt haben, sind wir dadurch zu einer Grundlage für eine speciellere Betrachtung der Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen gelangt. Wenden wir uns zunächst wieder zur Sonne.

1. **Bewegung der Sonne am 21. März.** Haben wir uns an dem Orte, den wir zu unsern Beobachtungen gewählt haben, an irgend einem Merkmal die Lage des Ostpunktes im Horizonte gemerkt, und beobachten wir am Morgen des 21. März den Aufgang der Sonne, so werden wir finden, daß derselbe um 6 Uhr in dem Ostpunkte erfolgt. Nachdem sich die Sonne im Laufe des Vormittags höher und höher erhoben und am Mittage culminirt hat, senkt sie sich wieder dem Horizonte zu und erreicht denselben um 6 Uhr abends, um im Westpunkte unterzugehen. Nach dem im vorigen Kapitel Mitgetheilten kann der am 21. März von der Sonne durchlaufene Tagkreis kein anderer Kreis sein, als der Aequator, da dieser ja den Horizont in dem Ost- und Westpunkte durchschneidet, und messen wir an dem genannten Tage die Mittagshöhe der Sonne, so finden wir auch dieselbe gleich der Aequatorhöhe, $= 37^1/_2{}^0$. Um Mitternacht muß daher die Sonne $37^1/_2{}^0$ unter dem Horizonte stehen.

Am 21. März sind Tag und Nacht einander gleich, und da mit diesem Tage bei uns der Frühling beginnt, so nennt man diese Zeit die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche oder das Frühlingsäquinoctium.

2. **Bewegung der Sonne bis zum 21. Juni.** Beobachten wir nach dem 21. März von demselben Standpunkte aus die Sonne fortgesetzt, so finden

wir, daß sie nicht mehr um 6 Uhr morgens, sondern früher, auch nicht mehr im Ostpunkte, sondern nördlich von demselben aufgeht; daß sie ferner zu Mittag eine größere Höhe als am 21. März erreicht, und daß sie nach 6 Uhr abends nördlich vom Westpunkte untergeht. Aus allem müssen wir erkennen, daß der Tagkreis der Sonne nicht mehr der Aequator sein kann, sondern daß er vielmehr ein Kreis sein muß, der nördlich vom Aequator liegt. Die Sonne ist also vom Aequator nach Norden gerückt, wofür auch die erfolgte Zunahme der Tage und die Abnahme der Nächte spricht.

Die Entfernung des Aufgangspunktes eines Sternes vom Ostpunkte nennt man seine Morgenweite, und die Entfernung des Untergangspunktes vom Westpunkte seine Abendweite.

Am 21. März hatte die Sonne 0^0 Morgen- und Abendweite; nach diesem Tage aber bekommt sie nördliche Morgen- und nördliche Abendweite.

Die Bewegung nach Norden setzt die Sonne nach dem 21. März 3 Monate lang fort. Morgen- und Abendweite werden dabei immer nördlicher; der Aufgang der Sonne erfolgt mit jedem Tage früher, der Untergang später; die Mittagshöhe wächst; die Entfernung unter dem Horizonte zur Zeit der unteren Culmination nimmt mehr und mehr ab; die Tagkreise bleiben aber stets mit dem Aequator parallel.

3. **Bewegung der Sonne am 21. Juni.** Mit dem 21. (zuweilen dem 22.) Juni hat die nördliche Abweichung der Sonne vom Aequator ihr Maximum erreicht. Die nördliche Morgen- und Abendweite betragen an diesem Tage 41^0; es geht also die Sonne fast im NO. auf und im NW. unter. Ihr Aufgang erfolgt schon um $3^3/_4$ Uhr morgens, der Untergang erst $8^1/_4$ Uhr abends, so daß sie also $16^1/_2$ Std. über und nur $7^1/_2$ Std. unter dem Horizonte verweilt. Wir haben den längsten Tag und die kürzeste Nacht. Verfolgt man den Tagkreis genauer, so findet man, daß er $23^1/_2{}^0$ nördlich vom Aequator liegt. Es ist demnach die Mittagshöhe der Sonne am 21. Juni $= 37^1/_2{}^0 + 23^1/_2{}^0 = 61^0$, ihre Zenith-Distanz also nur $90^0 - 61^0 = 29^0$; um Mitternacht aber steht sie nur $37^1/_2{}^0 - 23^1/_2{}^0 = 14^0$ von dem Horizonte entfernt.

Ueber den am 21. Juni beschriebenen Tagkreis rückt aber die Sonne nicht hinaus, sondern sie wendet von ihm gleichsam um, um sich dem Aequator wieder zu nähern. Man nennt deshalb jenen Kreis den Wendekreis, und weil er nördlich vom Aequator liegt, den nördlichen Wendekreis.

Die Zeit um den 21. Juni herum heißt die Zeit der Sommer-Sonnenwende oder die des Sommer-Solstitiums; der 21. Juni selbst ist der Tag der Sommer-Sonnenwende. Mit ihm beginnt unser Sommer.

4. **Bewegung der Sonne bis zum 23. September.** Bei der genannten Annäherung der Sonne zum Aequator werden Morgen- und Abendweite, sowie die Mittagshöhe, anfangs sehr unmerklich, mit jedem Tage aber mehr und mehr sichtbar, kleiner und kleiner. Der Aufgang der Sonne verspätet, der Untergang verfrüht sich; die Tage nehmen also mehr und mehr ab, bis am 23. September der Aequator wieder erreicht und derselbe Tagkreis wie am 21. März

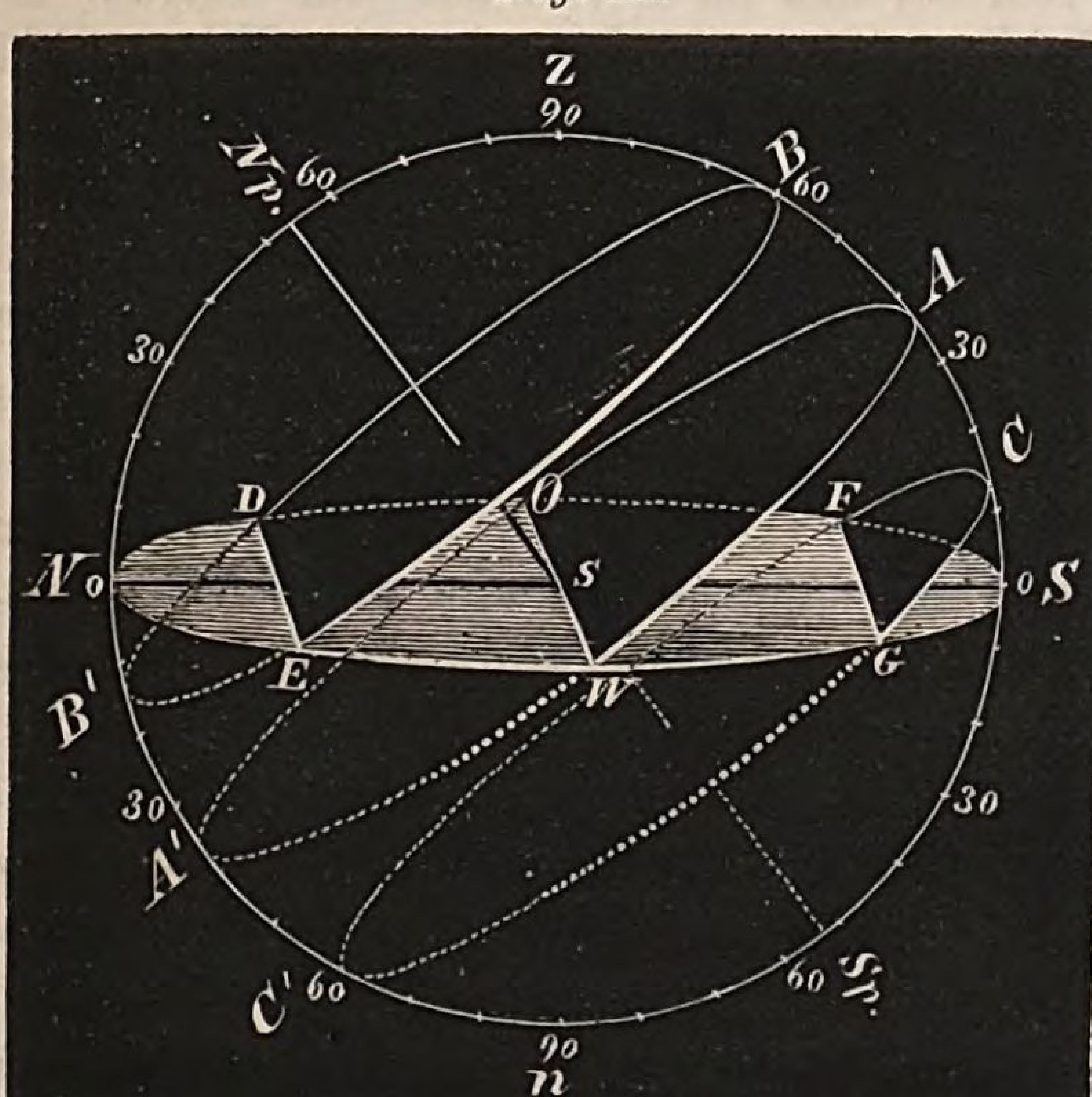
durchlaufen wird. Die Sonne geht wieder um 6 Uhr morgens im Ostpunkte auf und um 6 Uhr abends im Westpunkte unter; Tag und Nacht sind also wieder einander gleich. Die Mittagshöhe ist wieder gleich der Aequatorhöhe, $= 37\frac{1}{2}{}^0$.

Da mit dem 23. Septbr. bei uns der Herbst beginnt, so nennt man die mit diesem Tage eintretende Tag- und Nachtgleiche die Herbst-Tag- und Nachtgleiche oder das Herbstäquinoctium.

5. **Bewegung der Sonne bis zum 21. December.** Von dem 23. September ab wendet sich die Sonne nach Süden von dem Aequator. Morgen- und Abendweite werden südlich, die Mittagshöhe kleiner als die Aequatorhöhe, und die Tage kürzer als die Nächte. Dieses Rücken nach Süden setzt die Sonne bis zum 21. December, dem Anfange des Winters, fort. Die südliche Morgen- und Abendweite beträgt dann 41^0; die Sonne geht erst um $8\frac{1}{4}$ Uhr morgens auf und schon um $3\frac{3}{4}$ Uhr nachmittags unter, verweilt also nur $7\frac{1}{2}$ Std. über, hingegen $16\frac{1}{2}$ Std. unter dem Horizonte. Wir haben den kürzesten Tag und die längste Nacht. Der Tagkreis der Sonne liegt $23\frac{1}{2}{}^0$ südlich vom Aequator, und die Mittagshöhe ist demnach nur $37\frac{1}{2}{}^0 - 23\frac{1}{2}{}^0 = 14^0$; um Mitternacht aber erreicht die Sonne eine Entfernung von $37\frac{1}{2}{}^0 + 23\frac{1}{2}{}^0 = 61^0$ unter dem Horizonte.

Der am 21. December von der Sonne durchlaufene Tagkreis heißt der südliche Wendekreis; denn von ihm aus beginnt die Sonne wieder sich dem Aequator zuzuwenden. Jener Tag aber ist der Tag der Winter-Sonnenwende oder der Tag des Winter-Solstitiums. Von nun an werden die südlichen Morgen- und Abendweiten wieder kleiner; die Mittagshöhe wird mit jedem Tage größer, und die Tage nehmen wieder zu, bis am 21. März Tag und Nacht wieder gleich sind. An diesem Tage hat die Sonne den Aequator wieder erreicht, und nun durchläuft sie in der beschriebenen Weise von neuem ihre Bahn.

Fig. 10.



6. **Veranschaulichung.** Die Lage der wichtigsten Tagkreise der Sonne zum Horizonte möge *Fig. 10* veranschaulichen.

Es sei der äußerste Kreis der Meridian und stelle zugleich die Himmelskugel vor. Der Kreis *N O S W* sei der Horizont und in ihm *s* der Standpunkt des Beobachters. *A W A′O* bedeute den Aequator, welcher den Horizont in dem Ostpunkte *O* und dem Westpunkte *W*, und dessen Ebene die des Horizontes in der Ost-West-

Linie *OW* durchschneidet. *DBEB'* stelle den nördlichen und *FCGC'* den südlichen Wendekreis vor. Die übrigen Buchstaben bedeuten dasselbe, wie in *Fig. 8* und *9*.

7. **Zusammenfassung mit Beziehung auf Fig. 10.** Mit Beziehung auf *Fig. 10* wollen wir der Uebersichtlichkeit wegen die Hauptsätze noch einmal zusammenstellen.

1) Die drei Hauptkreise, welche die Sonne innerhalb eines Jahres am Himmel scheinbar durchläuft, sind der Aequator und die beiden Wendekreise.

2) Jeder Wendekreis ist vom Aequator $23^1/_2{}^0$ entfernt (AB u. $AC = 23^1/_2{}^0$); mithin sind die beiden Wendekreise von einander $2 \times 23^1/_2{}^0 = 47^0$ entfernt ($BA + AC = 47^0$).

3) Da die Sonne zwischen den Wendekreisen sich auf- und abbewegt, so werden alle Tagkreise mit Ausnahme der Wendekreise von ihr 2mal durchlaufen. Sie muß also 2mal im Jahre gleiche Morgen- und Abendweite, gleiche Mittagshöhe etc. haben, und zwar zu Zeiten, die gleich weit vor oder nach dem 21. Juni oder dem 21. December liegen.

4) Die beiden Culminationspunkte der Sonne bewegen sich innerhalb eines Jahres durch einen Bogen des Meridians von 47^0 hinauf und hinab ($CA + AB$ und $C'A' + A'B' = 47^0$).

5) Die größte Mittagshöhe der Sonne am 21. Juni beträgt 61^0 ($SB = 61^0$), die kleinste am 21. December 14^0 ($SC = 14^0$), und die mittlere am 21. März und am 23. September $37^1/_2{}^0$ ($SA = 37^1/_2{}^0$).

6) Die kleinste Entfernung der Sonne zu Mitternacht unter dem Horizonte am 21. Juni beträgt 14^0 ($NB' = 14^0$), die größte am 21. December 61^0 ($NC' = 61^0$), und die mittlere am 21. März und am 23. September $37^1/_2{}^0$ ($NA' = 37^1/_2{}^0$).

7) Die Sonne geht 2mal im Jahre im Ostpunkte auf und im Westpunkte unter, und zwar am 21. März und am 23. September.

8) Die Morgen- und die Abendweite der Sonne sind ein halbes Jahr lang nördlich und ein halbes Jahr lang südlich.

9) Die größte nördliche Morgen- und Abendweite findet am 21. Juni statt, und sie beträgt 41^0 (OD und $WE = 41^0$), die größte südliche am 21. December ebenfalls 41^0 (OF und $WG = 41^0$). Auf- und Untergangspunkt der Sonne bewegen sich also innerhalb eines Jahres durch einen Bogen des Horizontes von 82^0 hin und her ($OD + OF$ und $WE + WG = 82^0$).

10) Zweimal im Jahre, am 21. März und am 23. September, geht die Sonne um 6 Uhr morgens auf und um 6 Uhr abends unter; es sind also auch zweimal Tag und Nacht einander gleich und der Tag- sowie der Nachtbogen dann $= 180^0$.

11) Der früheste Aufgang der Sonne erfolgt am 21. Juni um $3^3/_4$ Uhr morgens, und der späteste Untergang an demselben Tage um $8^1/_4$ Uhr abends.

12) Der längste Tag ist mithin $= 16^1/_2$ Std. und der entsprechende Tagbogen etwa $= 248^0$; die kürzeste Nacht zu derselben Zeit hat eine Dauer von $7^1/_2$ Std., und der entsprechende Nachtbogen ist etwa $= 112^0$.

13) Der späteste Aufgang der Sonne erfolgt am 21. December um $8^1/_4$ Uhr morgens, und der früheste Untergang an demselben Tage um $3^3/_4$ Uhr nachmittags.

14) Der kürzeste Tag ist demnach gleich $7^1/_2$ Std. und der entsprechende Tagbogen etwa $= 112^0$; die längste Nacht hingegen hat $16^1/_2$ Std. und der entsprechende Nachtbogen etwa 248^0 Länge.

15) Die Tage nehmen ein halbes Jahr hindurch, vom 21. December bis zum 21. Juni, an Länge zu, und ein halbes Jahr, vom 21. Juni bis zum 21. December, ab. Der Unterschied des längsten und des kürzesten Tages beträgt für Berlin etwa 9 Std.

8. **Warum die Morgenweite größer ist als die Entfernung der beiden Wendekreise vom Aequator.** Wir haben oben gelernt, daß der Culminationspunkt der Sonne innerhalb eines Jahres durch einen Bogen des Meridians von $2 \times 23^1/_2{}^0 = 47^0$ hinauf- und hinabrückt, daß hingegen Auf- und Untergangspunkt der Sonne durch einen Bogen des Horizontes von $2 \times 41^0 = 82^0$ sich hin und her bewegen. Aus *Fig. 10* ist ersichtlich, warum die Aenderung der Mittagshöhe geringer ist als die der Morgen- und Abendweite. Es durchschneidet nämlich der Meridian alle Tagkreise, also auch die beiden Wendekreise, senkrecht, der Horizont indessen schief, und zwar unter einem Winkel von $37^1/_2{}^0$. Durchschneidet man aber zwei Parallellinien durch mehrere gerade Linien, so ist die senkrechte die kürzeste von allen, und die durchschneidenden Linien werden um so größer, je mehr sie von der senkrechten abweichen. So entspricht einem Bogen von $23^1/_2{}^0$, senkrecht im Meridian gemessen, ein Bogen von 41^0, unter einem Winkel von $37^1/_2{}^0$ im Horizonte gemessen. In der Figur entsprechen den Bogen des Meridians AB und $AC = 23^1/_2{}^0$ die die Morgen- und Abendweite messenden Bogen des Horizontes OD und OF, WE und $WG = 41^0$.

II. Von der Dämmerung.

Ehe morgens die Sonne aufgeht, kündet sie ihr Erscheinen am Morgenhimmel durch einen lichten Schein an, der mit ihrer Annäherung an den Horizont heller und heller wird, bis sie endlich selbst bei ihrem Aufgange erscheint. Wenn die ersten Spuren des Erscheinens der Sonne sichtbar werden, sagt man: der Tag graut.

1. **Morgen- und Abenddämmerung, Morgen- und Abendröthe.** Diese den Tag vorbereitende Zeit des Halbdunkels heißt die Morgendämmerung; häufig ist diese mit der Morgenröthe verbunden, die den Sonnenaufgang zu einem der herrlichsten Naturschauspiele macht. Abends, nach Sonnenuntergang, treten ähnliche Erscheinungen am Abendhimmel ein. Dem hellen Tage folgt die Zeit der Abenddämmerung, welche Tag und Nacht allmählich ineinanderfließen macht und den starken Gegensatz zwischen Licht und Finsternis, der unsern Augen schädlich werden könnte, vermittelt. Die Abendröthe

aber malt uns den Abendhimmel ebenfalls mit den glänzendsten Farben, um uns gleichsam für das Verschwinden der Sonne zu entschädigen.

2. **Entstehung derselben.** Diese Erscheinungen würde die Erde entbehren, wenn sie nicht mit der Atmosphäre umgeben wäre. Wenn nämlich die Sonne die Erdoberfläche mit ihren Strahlen noch nicht oder nicht mehr direkt erleuchten kann, so sendet sie ihr dieselben durch die die Erde umgebenden Luftschichten zu, die das von der Sonne empfangene Licht reflektiren. Sehen wir doch in Berggegenden, wie die Sonne schon vor ihrem Aufgange die Berggipfel vergoldet, während unten im Thale die Nacht noch alles mit ihrem Schleier deckt, und wie umgekehrt am Abend die niederen Bergregionen zuerst in Dunkel versinken, während die Firsten der Berge noch im Sonnenglanze strahlen. Ginge die Atmosphäre bis ins Unendliche fort, so würde die Dämmerung nie erlöschen, sondern es würden Morgen- und Abenddämmerung stets ineinanderfließen. Da die Erfahrung aber lehrt, daß die Dämmerung aufhört, so muß die Atmosphäre eine obere Grenze haben, und aus der Zeit, welche die Dämmerung währt, ist man im stande, zu berechnen, welche Höhe die Atmosphäre wenigstens besitzen muß.

Die Dichtigkeit der Luft nimmt mit der Höhe ab. Je näher die Sonne dem Horizonte steht, desto niedriger, und darum desto dichter sind die Luftschichten, welche noch oder schon direkt von der Sonne beschienen werden können, desto größer ist also auch die Wirkung des von ihnen reflektirten Lichtes. Je tiefer die Sonne sinkt, desto höher liegen die von ihr noch getroffenen Luftschichten, desto dünner sind sie also auch, und darum wird das Licht der Dämmerung mit sinkender Sonne immer matter, bis es endlich ganz erlischt.

3. **Höhe der Atmosphäre, Dämmerungskreis.** Die Erfahrung lehrt, daß die Dämmerung gänzlich aufhört, wenn die Sonne tiefer als 18° (in einem Scheitelkreise gemessen) unter dem Horizonte steht; es treten dann am Abend auch die kleinsten der überhaupt sichtbaren Sterne hervor. Die Luftschichten, welche nun noch von der Sonne getroffen werden, haben, wie die Rechnung zeigt, eine Höhe von etwa 9 d. Meilen. Die Atmosphäre hat also wenigstens 9 Meilen Höhe, und sie hört hier entweder schon gänzlich auf, oder, was wahrscheinlicher ist, sie hat bereits eine so geringe Dichtigkeit, daß das wenige von ihr reflektirte Licht für unsere Augen nicht mehr wahrnehmbar ist*).

Denkt man sich unter dem Horizonte einen Kreis, der 18° von dem Horizonte entfernt ist und mit ihm parallel läuft, so heißt dieser Kreis der Dämmerungskreis, und die zwischen ihm und dem Horizonte liegende Zone die Dämmerungszone. So lange die Sonne in dieser Zone verweilt, ist Dämmerung, und zwar die astronomische Dämmerung.

*) Nach den Beobachtungen der Sternschnuppen vom 10. bis 12. August 1867 ist man genöthigt, die Höhe der Atmosphäre auf wenigstens 22 deutsche Meilen anzunehmen.

4. **Dauer der astronomischen Dämmerung.** Ginge die Sonne senkrecht auf und unter, wie unter dem Aequator, so würde sie 18 × 4 Min. = 1 Std. 12 Min. gebrauchen, um die Dämmerungszone zu durchlaufen. Durch den Umstand aber, daß die Sonne für unsern Horizont schief auf- und untergeht, wird die Dämmerung bedeutend verlängert. Ihre Dauer ist aber nicht immer gleich lang. Einmal werden die verschiedenen Tagkreise von der Sonne mit ungleicher scheinbaren Geschwindigkeit durchlaufen, der Aequator, als der größte, am schnellsten, und die Wendekreise am langsamsten; außerdem liegen in der Dämmerungszone wegen der Ungleichheit der Grade der verschiedenen Kreise eine ungleiche Anzahl dieser Grade. Die kürzeste Dämmerung tritt immer an zwei Tagen des Jahres ein, an welchen der zwischen dem Horizonte und dem Dämmerungskreise liegende Theil des Tagkreises durch den durch Ost- und Westpunkt gehenden ersten Vertikalkreis halbirt wird. Dies ist bei uns in Berlin am 1. März und am 12. October der Fall. Nach den Polen hin entfernen sich diese Tage mehr und mehr von den Tagen der Aequinoction; nach dem Aequator hin rücken sie näher an dieselben heran, und auf diesem selbst fallen sie mit den Tagen der Aequinoctien zusammen.

5. **Die hellen Nächte.** Am 21. Juni aber steht die Sonne um Mitternacht nur 14° unter dem Horizonte, und darum kann an diesem Tage die Dämmerung die ganze Nacht hindurch nicht aufhören. Man sieht aber leicht ein, daß es vor und nach dem 21. Juni einen Tag geben muß, an welchem die Entfernung der Sonne unter dem Horizonte um Mitternacht gerade 18° beträgt, und dies ist für Berlin der Fall etwa Mitte Mai und Ende Juli. Zwischen diesen beiden Zeiten geht die Abenddämmerung in die Morgendämmerung über, so daß es die ganze Nacht hindurch nicht ganz finster wird, und deshalb kleine Sterne selbst um Mitternacht nicht gesehen werden können. Es sind diese Nächte unter dem Namen der hellen Nächte bekannt. Man kann in ihnen selbst um Mitternacht den Ort der Sonne an dem hellen Schein des Himmels erkennen.

6. **Die bürgerliche Dämmerung.** Von der astronomischen Dämmerung ist indessen die bürgerliche zu unterscheiden. Unter dieser pflegt man die Zeit zu verstehen, während welcher es vor dem Sonnenaufgange oder nach dem Sonnenuntergange in einem dem Morgen- oder dem Abendhimmel zugekehrten Zimmer schon oder noch so hell ist, daß man, ohne Licht anzuzünden, lesen kann. Diese Zeitbestimmung ist freilich eine sehr unbestimmte; jedenfalls aber ist die bürgerliche Dämmerung bedeutend kürzer als die astronomische. Sie beginnt oder endet, wenn die Sonne etwa 6° von dem Horizonte entfernt ist.

7. **Die Gegendämmerung.** Von der Dämmerung ist noch die Gegendämmerung zu unterscheiden. Man versteht darunter einen matten farbigen Lichtschein, der der Morgen- oder Abenddämmerung gegenüber am Abend- oder Morgenhimmel vor dem Sonnenauf- und nach dem Sonnenuntergange sich zeigt. Die Ursache der Erscheinung ist die Inflexion der die Erdkugel

tangirenden Lichtstrahlen in den äußersten Theil des Schattenkegels der Erde. Sie ist am deutlichsten zu sehen bei ruhiger Luft, verschwindet aber bei sehr bewegter, wenn auch heiterer Atmosphäre, fast gänzlich.

III. Von der Ekliptik.

Die Sonne legt, wie wir gesehen haben, gleich allen Gestirnen, täglich einen Kreis (Tagkreis) von O. nach W. am Himmel zurück. Welchen Weg aber schlägt sie unter den Sternen des Himmels ein, um im Laufe eines Jahres zwischen den beiden Wendekreisen auf- und absteigen zu können? Eine aufmerksame Beobachtung der Sterne kann uns Antwort auf diese Frage geben.

1. **Verschiedener Anblick des gestirnten Himmels in den verschiedenen Jahreszeiten.** Ist man mit den Sternen nur einigermaßen bekannt, so nimmt man leicht wahr, daß in den dunklen Winternächten andere Sterne am Himmel sichtbar sind als im Sommer, und daß im Frühlinge wieder andere gesehen werden als im Herbste. An den Circumpolarsternen (S. 9) aber, die beständig über dem Horizonte verweilen, und daher in allen Jahreszeiten am Himmel zu finden sind, z. B. an den 7 Hauptsternen des großen Bären, bemerkt man, daß sie zu verschiedenen Zeiten des Jahres für eine bestimmte Tagesstunde eine verschiedene Lage zum Horizonte einnehmen. *Es ändert sich also der Anblick des gestirnten Himmels in den verschiedenen Jahreszeiten.*

2. **Die Sonne hat eine jährliche Bewegung von Westen nach Osten.** Nach Verlauf eines Jahres indessen werden zu einer bestimmten Tagesstunde wieder dieselben Sterne in derselben Gegend des Himmels und in derselben Lage zum Horizonte gesehen. Diese Thatsache kann in nichts Anderem ihre Ursache haben, als daß *die Sonne im Laufe eines Jahres ihre Stellung zu den Sternen ändert.*

Sehen wir z. B. zu irgend einer Zeit eine uns bekannte Sterngruppe kurz nach Sonnenuntergang über der Gegend des Horizontes stehen, in welcher die Sonne unterging, und beachten wir dieselbe einige Tage lang, so bemerken wir, daß sie mit jedem Tage schwerer sichtbar wird, bis sie endlich, von dem Lichte der Sonne am Abendhimmel überstrahlt, sich gänzlich unsern Blicken entzieht. Einige Wochen später indessen erblicken wir dieselbe Sterngruppe am Morgenhimmel kurz vor Aufgang der Sonne. Während also früher die Sterngruppe *östlich* von der Sonne stand, wird sie nun *westlich* von ihr gesehen. Diese Aenderung der Stellung ist nur möglich, wenn die Sonne von W. nach O. am Himmel fortgeschritten ist. In jeder Jahreszeit ist die oben angedeutete Erfahrung, nur an andern Sternen, zu machen, und man gelangt dadurch zur Gewißheit, daß *die Bewegung der Sonne an den Sternen vorüber von W. nach O. gerichtet sein muß.* Da nach Verlauf eines

Jahres wieder dieselben Sterne an derselben Gegend des Himmels und für eine bestimmte Stunde in derselben Lage zum Horizonte erscheinen, so muß die Sonne 1 Jahr oder 365 Tage gebrauchen, um einen ganzen Umlauf am Himmel zu vollenden. Dieser Umlauf erfolgt in einem Kreise, dessen Lage man dadurch bestimmen kann, daß man diejenigen Sterne beobachtet, welche der Sonne um Mitternacht gerade gegenüberstehen. In früheren Zeiten suchte man die Dauer des Jahres zu bestimmen, indem man die Zeit beachtete, nach welcher ein bestimmter Stern oder eine leicht merkliche Sterngruppe wieder zum erstenmale am Morgenhimmel vor dem Aufgange der Sonne gesehen werden konnte. Man nannte einen solchen Aufgang einen helischen oder heliakischen Aufgang des Sternes. Es mußte nämlich dann die Sonne wieder dieselbe Stellung zu den Sternen angenommen, also einen Umlauf am Himmel vollendet haben. So beachteten die alten Aegypter den hellsten Fixstern des ganzen Himmels, nämlich den unsern Sternhimmel in den kalten Winternächten zierenden Sirius, und sie fanden als Zeit zwischen zwei heliakischen Aufgängen dieses Sternes anfangs 360 Tage, welche Zeit sie aber später zu 365 Tagen berichtigten.

3. **Lage der Sonnenbahn.** Welche Lage aber hat die jährliche Bahn der Sonne am Himmel? Für die Beantwortung dieser Frage kann uns das, was wir bereits über den scheinbaren Sonnenlauf wissen, einen Anhalt gewähren. Wir haben nämlich erfahren, daß die Sonne täglich in einem andern Punkte des Horizontes auf- und untergeht, und daß sie ihre Mittagshöhe täglich ändert. Wäre ihre jährliche Bahn ein Parallelkreis, so müßte sie, wie aus dem Früheren klar sein muß, stets in demselben Punkte des Horizontes auf- und untergehen und in gleicher Höhe culminiren. Dies ist indessen nicht der Fall; darum kann die Bahn der Sonne kein Parallelkreis sein. Da sie von einem Parallelkreise zum andern wandert, so muß ihre Bahn schief gegen diese Kreise liegen; aber wie schief? Zweimal im Jahre, am 21. März und am 23. September, durchläuft die Sonne als Tagkreis den Aequator; sie muß an diesen Tagen also in diesem Kreise stehen, ihre Bahn also denselben in 2 Punkten durchschneiden. Die größte Entfernung vom Aequator erreicht die Sonne am 21. Juni und am 21. December, und zwar beträgt dieselbe $23^1/_2{}^0$. Am ersteren Tage steht sie $23^1/_2{}^0$ nördlich, am letzteren $23^1/_2{}^0$ südlich vom Aequator. Dies ist nur möglich, wenn die Sonnenbahn von dem Aequator um einen Winkel von $23^1/_2{}^0$ abweicht oder wenn sie den Aequator unter diesem Winkel durchschneidet. Die Sonne durchläuft also innerhalb eines Jahres von W. nach O. einen größten Kreis am Himmel, der den Aequator unter einem Winkel von $23^1/_2{}^0$ durchschneidet. Die Alten nannten diese Bahn die Ekliptik, d. h. Kreis der Finsternisse, weil sie wahrnahmen, daß alle Finsternisse, wenigstens die an Sonne und Mond, sich in diesem Kreise ereigneten.

Wie jeder Kreis, hat auch die Ekliptik 360^0, und da diese von der Sonne in 365 Tagen durchlaufen werden, so rückt die Sonne im Durchschnitt täglich

$\frac{360^0}{365} = 0^0,986$ d. i. fast 1^0, in derselben fort, und hieraus erklärt sich, wie wir jetzt schon sehen, der Umstand, daß die Fixsterne täglich etwa 4 Minuten weniger als 24 St. gebrauchen, als die Sonne, um ihren Tagkreis zu vollenden.

4. **Jährliche Bewegung der Sonne in ihrer Bahn.** Gestattete die Sonne, wie der Mond, die in ihrer Nähe stehenden Sterne zu sehen, so würde man etwa Folgendes wahrnehmen. Wenn z. B. am 21. März die Sonne mit einem Fixstern in demselben Augenblick im Durchschnittspunkte des Aequators mit dem Meridian culminirte, und zwar so, daß sie mit ihrer Scheibe den Stern verdeckte, so würde dies am 22. März nicht mehr der Fall sein, sondern wir würden die Sonne c. 1^0 links oder östlich von dem Sterne, zugleich aber etwas nördlich vom Aequator erblicken, und sie würde darum ungefähr 4 Minuten später als der Stern in den Meridian treten. Am folgenden Tage würde die Sonne zu Mittag wiederum etwa 1^0 hinter dem Sterne zurückgeblieben sein, also etwa 2^0 von ihm nach O. hin abstehen und etwa 8 Minuten später culminiren; außerdem aber würde die Entfernung vom Aequator größer geworden sein. Mit jedem folgenden Tage würden wir den Abstand der Sonne von dem Sterne sich täglich c. 1^0 vergrößern, die Culmination sich um ungefähr 4 Minuten verspäten und, wenigstens ein Vierteljahr lang, die Entfernung der Sonne vom Aequator wachsen sehen. Nach einem Monat würde die Entfernung beider Himmelskörper bereits c. 30^0 betragen, und daher die Zeit ihrer Culmination um etwa 2 Stunden verschieden sein; der Stern würde also schon um 10 Uhr vormittags den Meridian erreichen.

Am 21. Juni wäre die Entfernung der Sonne von dem Stern bis auf 90^0, ihr nördlicher Abstand vom Aequator bis auf $23^1/_2{}^0$ angewachsen. Die Culmination der Sonne würde erst c. 6 Std. nach der des Sternes erfolgen, dieser also schon um 6 Uhr morgens culminiren.

Vom 21. Juni bis zum 23. September würde man die Entfernung der Sonne von dem Stern allmählich bis auf 180^0 zunehmen, zugleich aber die Sonne wieder zum Aequator hinabsteigen sehen. Sonne und Stern würden am 23. September im Aequator einander gegenüberstehen, die Sonne also aufgehen, wenn der Stern unterginge.

Vom 23. September bis zum 21. December würden sich Sonne und Stern allmählich, von W. nach O. gezählt, bis auf 270^0 von einander entfernen, mithin von O. nach W. gerechnet, bis auf 90^0 einander nähern. Dabei würde die Sonne am letzteren Tage im südlichsten Punkte ihrer Bahn, d. i. $23^1/_2{}^0$ südlich vom Aequator, gesehen werden. Die Sonne würde 18 Std. später als der Stern, dieser also etwa abends 6 Uhr culminiren, da er drei viertel eines Tagkreises vor der Sonne voraus hätte.

Vom 21. December bis zum 21. März hin würde allmählich die Entfernung der Sonne von dem Stern, von W. nach O. gezählt, bis auf 360^0 zunehmen oder, was dasselbe ist, von O. nach W. bis auf 0^0 abnehmen, bis sie am 21. März wieder beide im Aequator zusammen wären und der ganze Verlauf sich erneuerte.

Verbände man alle Sterne, mit denen die Sonne im Laufe eines Jahres zusammen culminirt hätte, in Gedanken, so würde man sie in einem Kreise liegend finden, der die oben angegebene Lage hat.

5. **Veranschaulichung.** Während also die Sonne täglich von O. nach W. einen Tagkreis durchläuft, schreitet sie in ihrer jährlichen Bahn um 1° von W. nach O. fort. Diese letztere Bewegung kann als ein Zurückbleiben der Sonne hinter den Fixsternen angesehen werden, und es könnten dasselbe zwei Personen veranschaulichen, die den Umfang einer Rotunde in etwas von einanderer abweichenden Bahnen mit wenig verschiedener Geschwindigkeit, aber in derselben Richtung mehrmals umwandelten. Wenn die Personen auch zu gleicher Zeit und von einem gewissen Anfangspunkte aus ihren Lauf begönnen, so könnten sie doch unmöglich beim ersten Umlaufe wieder zu derselben Zeit zum Anfangspunkte zurückkehren; die langsamere Person würde denselben etwas später erreichen. Nach jedem Umlaufe würden die Personen weiter von einander entfernt sein. Allmählich müßte die Entfernung die Hälfte des ganzen Umkreises der Rotunde betragen, die schnellere Person also einen halben Umlauf voraus haben, die langsamere um denselben zurück sein. Von nun an müßte trotz der immer größer werdenden Entfernung eine Annäherung der Personen erfolgen, bis nach einer entsprechenden Zahl von Umgängen wieder beide zu gleicher Zeit an dem Anfangspunkte zusammentreffen. Offenbar aber hätte die schnellere Person einen Umgang mehr gemacht als die langsamere.

Die erstere Person kann uns die Bewegung eines Fixsterns, die letztere die der Sonne veranschaulichen. Stern und Sonne machen täglich einen Umlauf (Tagkreis) am Himmel, aber mit etwas verschiedener Geschwindigkeit. Die Sonne hat zu einem Umlauf etwa 4 Minuten mehr Zeit nöthig als der Stern, und bleibt darum mit jedem Tage etwa 1° hinter dem Stern zurück. Erst nach 366 Umläufen des Sternes und 365 der Sonne treffen beide wieder zusammen.

6. **Stern- und Sonnenzeit.** Nun nennt man die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Culminationen eines Fixsterns vergeht, einen Sterntag, hingegen die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Culminationen der Sonne einen wahren Sonnentag. Nach dem Gesagten können beide unmöglich einander gleich sein. Es sind 365 Sonnentage gleich 366 Sterntagen, mithin 1 Sonnentag $= \frac{366}{365}$ Sterntagen $=$ 1 Sterntag + 3 Min. 56,7 Sek. Sternzeit. Es werden nämlich sowohl die Sterntage, als auch die Sonnentage zunächst in 24 gleiche Theile oder Stunden, jede Stunde in 60 Minuten und jede Minute in 60 Sekunden getheilt. Daß die entsprechenden Theile des Sonnentages etwas größer sind als die des Sterntages, ergiebt sich von selbst, und eine einfache Rechnung würde das gegenseitige Größenverhältnis bestimmen lassen. Doch soll dies hier nicht weiter verfolgt werden, sondern einem späteren Abschnitte vorbehalten bleiben.

7. **Zusammenfassung.** Fassen wir das Gesagte kurz zusammen, so haben wir Folgendes:

1) An der Sonne ist eine doppelte Bewegung zu unterscheiden, eine tägliche und eine jährliche.

2) Die tägliche Bewegung ist von O. nach W., die jährliche von W. nach O. gerichtet.

3) Bei der täglichen Bewegung legt die Sonne in einem Tage, bei der jährlichen erst in 365 Tagen oder einem Jahre einen ganzen Kreis zurück; bei letzterer Bewegung schreitet sie also täglich etwa um 1^0 fort.

4) Die jährliche Bahn der Sonne, Ekliptik, fällt nicht mit dem Aequator zusammen, sondern durchschneidet denselben unter einem Winkel von $23\frac{1}{2}{}^0$.

5) Dadurch, daß die tägliche und die jährliche Bewegung der Sonne gleichzeitig stattfinden, wird bewirkt, daß sie täglich einen andern Parallelkreis als Tagkreis durchläuft, und darum ihren Auf- und Untergangspunkt sowie ihre Mittagshöhe ändert.

6) Da die Ekliptik von dem Aequator um einen Winkel von $23\frac{1}{2}{}^0$ abweicht, so müssen alle Parallelkreise in einer Zone des Himmels liegen, die $23\frac{1}{2}{}^0$ nach N. und ebenso weit nach S. reicht, also eine Breite von 47^0 hat und von den Wendekreisen eingeschlossen ist.

IV. Von der Eintheilung der Ekliptik.

1. **Nördliche und südliche Hälfte der Ekliptik.** Die Ekliptik und der Aequator durchschneiden sich unter einem Winkel von $23\frac{1}{2}{}^0$. Diesen Winkel nennt man die Schiefe der Ekliptik. Indem sich beide größten Kreise gegenseitig durchschneiden, halbiren sie auch einander, und die Ekliptik zerfällt dabei in eine nördliche und eine südliche Hälfte.

2. **Aequinoctialpunkte.** Die beiden entstandenen Durchschnittspunkte beider Kreise liegen genau einander gegenüber, und sind daher 180^0 von einander entfernt. Wenn sich die Sonne in diesen Punkten befindet, durchläuft sie als Tagkreis den Aequator, und Tag und Nacht sind deshalb einander gleich. Darum hat man diese Punkte Nachtgleichenpunkte oder Aequinoctialpunkte genannt. In dem einen dieser Punkte steht die Sonne am 21. März, dem Anfange des Frühlings, und dieser Punkt heißt der Frühlings-Nachtgleichenpunkt (Frühlingspunkt) oder Frühlings-Aequinoctialpunkt; in dem andern steht sie am 23. September, dem Anfange des Herbstes, weshalb er der Herbstnachtgleichenpunkt oder Herbst-Aequinoctialpunkt genannt wird. Ein größter Kreis, der durch diese Punkte und die Pole des Himmels geht, heißt der Colur der Nachtgleichen oder der Aequinoctien-Colur.

3. **Solstitialpunkte.** Genau in der Mitte zwischen den Aequinoctialpunkten liegen der nördlichste und der südlichste Punkt der Ekliptik;

ersterer halbirt die nördliche, letzterer die südliche Hälfte der Ekliptik. Den nördlichsten Punkt der Ekliptik erreicht die Sonne am 21. Juni, dem Anfange des Sommers, und den südlichsten Punkt am 21. December, dem Anfange des Winters. Wenn die Sonne in oder nahe diesen Punkten steht, ändert sich ihre Mittagshöhe, ihre Morgen- und Abendweite, die Tageslänge etc. einige Zeit hindurch fast gar nicht oder doch nur sehr unmerklich. Es scheint fast, als sei ein Stillstand in ihrem Laufe eingetreten; denn sowie bei einem in die Höhe geworfenen Stein ein Punkt seines Weges gedacht werden muß, in welchem der Stein weder steigt noch fällt, so müssen auch bei der Sonne da, wo das Hinaufsteigen vom Aequator aufhört und das Hinabsteigen zum Aequator beginnt, oder umgekehrt das Hinabsteigen in das Hinaufsteigen übergeht, zwei Punkte des Sonnenstillstandes gedacht werden. Man hat deshalb diese Punkte Sonnenstillstands- oder mit einem fremden Worte Solstitialpunkte genannt, und zwar den nördlichsten Punkt den Sommer- und den südlichsten Punkt den Winter-Solstitialpunkt. Jeder derselben ist von den beiden Aequinoctialpunkten 90° entfernt. Durch die 4 genannten Punkte zerfällt die Ekliptik in vier gleiche Theile, deren jeder 90° zählt und in einer unserer Jahreszeiten durchlaufen wird. Ein größter Kreis am Himmel, der durch die beiden Solstitialpunkte und die Himmelspole geht, wird der Colur der Sonnenwenden oder Solstitien genannt. Er durchschneidet den Aequinoctien-Colur in den Polen unter rechten Winkeln.

4. **Die 12 Sternbilder des Thierkreises.** Die Sterne des Himmels stellen sich theils schon von Natur in gewissen Gruppen dar, theils hat man sie der Uebersichtlichkeit wegen in gewisse Gruppen getheilt. Die Phantasie hat dieselben mit den verschiedensten Gestalten in Verbindung gebracht und so den Himmel mit Sternbildern bedeckt. In einem späteren Abschnitte des Buches wird Näheres darüber mitgetheilt werden. Wenn die Sonne innerhalb eines Jahres die Ekliptik durchläuft, so geht sie allmählich durch 12 solcher Sternbilder. Die Namen derselben sind, von W. nach O. gezählt: 1) Widder ♈, 2) Stier ♉, 3) Zwillinge ♊, 4) Krebs ♋, 5) Löwe ♌, 6) Jungfrau ♍, 7) Wage ♎, 8) Skorpion ♏, 9) Schütze ♐, 10) Steinbock ♑, 11) Wassermann ♒, 12) Fische ♓.

Diese Sternbilder liegen zum Theil nördlich, zum Theil südlich von der Ekliptik, und zwar größtentheils in einem Gürtel, der 10° nördlich und 10° südlich von der Ekliptik liegt, also eine Breite von 20° hat. Da die Mehrzahl der genannten 12 Sternbilder Thiergestalten sind, so hat man diesen Gürtel den Thierkreis oder Zodiakus genannt. Er spielte in alten Zeiten, in denen die Astrologie in Blüte stand, eine bedeutende Rolle.

5. **Länge der Sternbilder.** Die 12 Sternbilder haben eine sehr verschiedene Länge, die aus der folgenden Zusammenstellung zu ersehen ist:

Widder = 23°	Krebs = 24°	Wage = 20°	Steinbock = 25°
Stier = 34°	Löwe = 39°	Skorpion = 25°	Wassermann = 27°
Zwillinge = 27°	Jungfrau = 40°	Schütze = 33°	Fische = 43°

6. **Die Zeichen der Ekliptik.** Da so ungleiche Größen unbequem in der Rechnung sind, so theilten die Alten die Ekliptik in 12 gleiche Theile und nannten diese Theile Zeichen, gaben ihnen aber die Namen der Sternbilder. Diese Eintheilung ist auch jetzt noch gebräuchlich, und man spricht daher von einem Sternbilde und einem Zeichen des Widders, der Fische etc. Sternbild und Zeichen sind also wohl von einander zu unterscheiden; erstere sind von ungleicher Größe, haben Länge und Breite, und sind also Flächen am Himmel, letztere sind einander gleich und haben nur Länge, und zwar jedes Zeichen $\frac{360^0}{12} = 30^0$. Seit Alters her pflegt man die Zeichen der Ekliptik mit den oben neben den Namen der Sternbilder stehenden Zeichen zu bezeichnen, die wahrscheinlich zum Theil hieroglyphische Abkürzungen der Sternbilder sein sollen. In jedem Kalender sind dieselben ebenfalls zu finden. Als den Anfangspunkt der Ekliptik betrachtet man stets den Frühlingspunkt oder den Anfangspunkt des Zeichens des Widders, und zählt von ihm von W. nach O. 360⁰ herum. Es reichen also die 12 Zeichen:

1)	Widder	von	0^0	bis	30^0
2)	Stier	»	30^0	»	60^0
3)	Zwillinge	»	60^0	»	90^0
4)	Krebs	»	90^0	»	120^0
5)	Löwe	»	120^0	»	150^0
6)	Jungfrau	»	150^0	»	180^0
7)	Wage	»	180^0	»	210^0
8)	Skorpion	»	210^0	»	240^0
9)	Schütze	»	240^0	»	270^0
10)	Steinbock	»	270^0	»	300^0
11)	Wassermann	»	300^0	»	330^0
12)	Fische	»	330^0	»	360^0

7. **Abweichung zwischen Sternbild und Zeichen.** Aus dem Umstande, daß die Sternbilder eine ungleiche, die Zeichen dagegen eine gleiche Länge haben, folgt schon mit Nothwendigkeit, daß beide nicht zusammenfallen, wir also z. B. das Sternbild des Krebses nicht gerade da finden können, wo das Zeichen des Krebses steht u. s. w. Es giebt indessen noch einen zweiten Grund, nämlich die Ortsveränderung des Frühlingspunktes, der eine Uebereinstimmung zwischen Sternbild und Zeichen unmöglich macht. Späterhin wird hierüber Genaueres mitgetheilt werden.

8. **Lage der Zeichen.** Die Lage der 12 Zeichen ist leicht zu merken. In dem Frühlingspunkte, diesem wichtigen Punkte des Himmels, beginnt das Zeichen des Widders, und bei der bekannten Länge der Zeichen ergiebt sich die Lage der übrigen von selbst. Zwischen dem Frühlingspunkte und dem Sommer-Solstitialpunkte liegen die Zeichen: Widder, Stier, Zwillinge. In dem Sommer-Solstitialpunkte, in welchen die Sonne am 21. Juni tritt, beginnt das Zeichen des Krebses, und darum heißt der an jenem Tage von der Sonne

durchlaufene Tagkreis der Wendekreis des Krebses. Zwischen dem Sommer-Solstitialpunkte und dem Herbst-Aequinoctialpunkte befinden sich die Zeichen: Krebs, Löwe, Jungfrau; im Herbst-Aequinoctialpunkte selbst beginnt das Zeichen der Wage, und zwischen ihm und dem Winter-Solstitialpunkte liegen: Wage, Skorpion, Schütze. Im Winter-Solstitialpunkte beginnt das Zeichen des Steinbocks, in welches die Sonne am 21. December tritt. Darum heißt der an diesem Tage von der Sonne durchlaufene Tagkreis der Wendekreis des Steinbocks. Zwischen dem Winter-Solstitialpunkte und dem Frühlingspunkte endlich finden sich: Steinbock, Wassermann und Fische, und mit dem letzteren Zeichen sind wir wieder zum Anfangspunkte der Ekliptik zurückgekehrt.

9. **Eintheilung der Zeichen.** Die Zeichen der Ekliptik pflegt man nach drei verschiedenen Rücksichten einzutheilen.

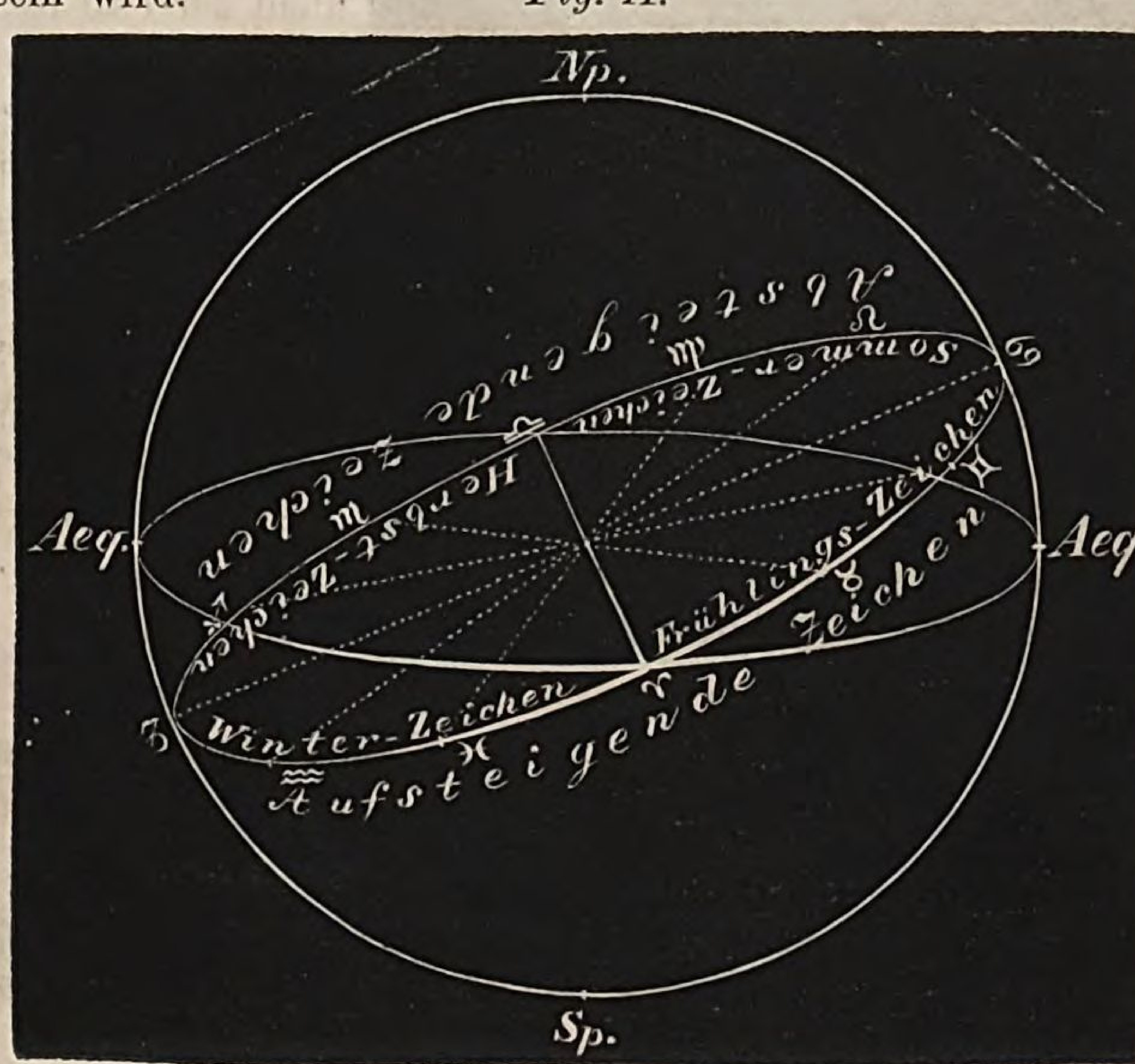
1) In Rücksicht auf die Lage zum Aequator unterscheidet man 6 nördliche Zeichen: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, und 6 südliche Zeichen: Wage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische.

2) In Beziehung auf die Jahreszeiten, in welchen dieselben durchlaufen werden, zählt man 3 Frühlingszeichen: Widder, Stier, Zwillinge; 3 Sommerzeichen: Krebs, Löwe, Jungfrau; 3 Herbstzeichen: Wage, Skorpion, Schütze; 3 Winterzeichen: Steinbock, Wassermann, Fische.

3) Hinsichtlich der Höhe, welche die Zeichen zum Horizonte erreichen, giebt es 6 aufsteigende Zeichen: Steinbock, Wassermann, Fische, Widder, Stier, Zwillinge, und 6 absteigende Zeichen: Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Skorpion, Schütze.

10. **Veranschaulichung.** Die Lage der Ekliptik zum Aequator, sowie ihre Eintheilung sind in *Fig. 11* dargestellt worden, die ohne Erläuterung verständlich sein wird.

Fig. 11.



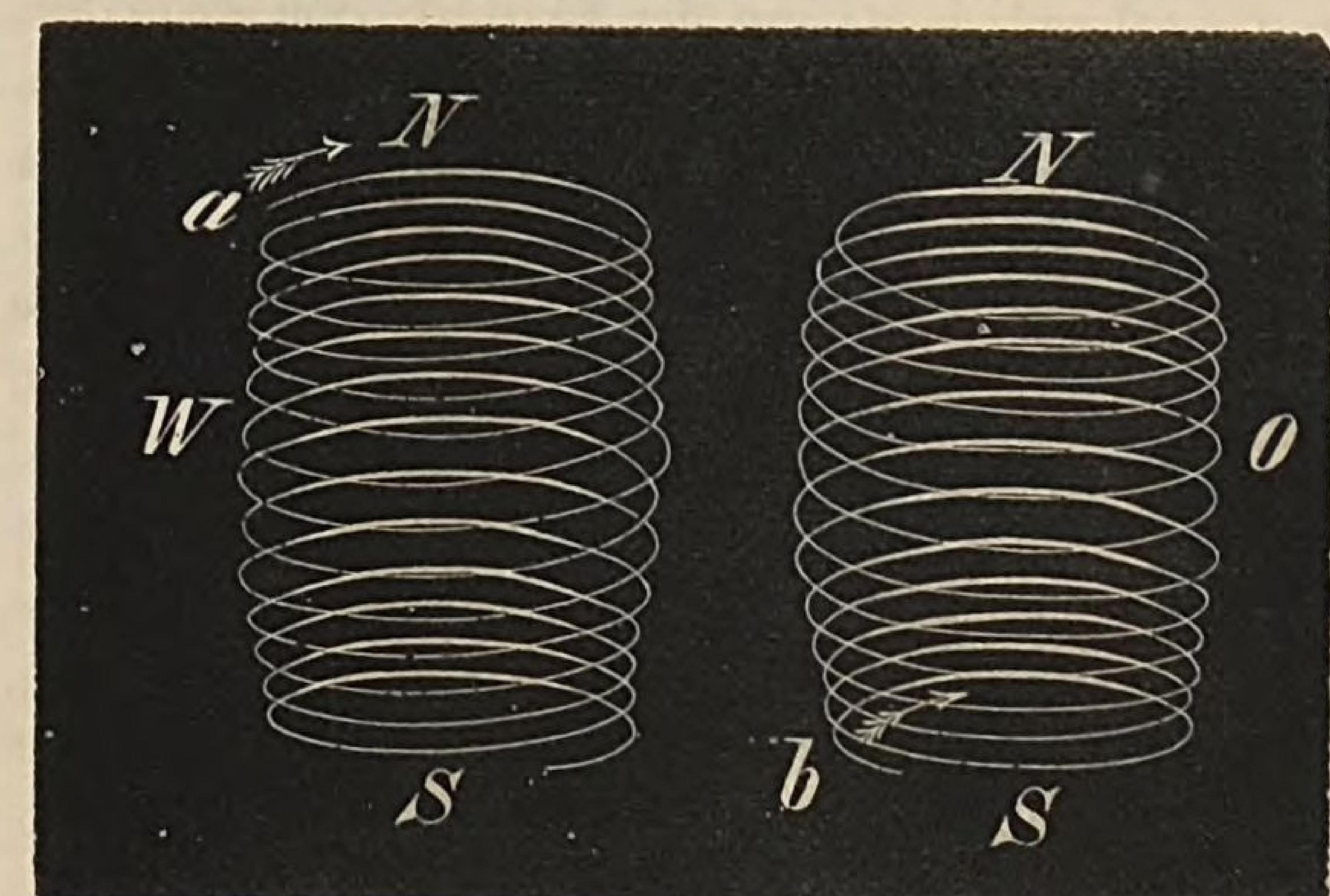
11. **Zeit des Sonneneintritts in die Zeichen.** Das Datum, an welchem die Sonne in die einzelnen Zeichen zu treten pflegt, ist aus der folgenden Zusammenstellung zu ersehen; doch treten darin auch kleine Abweichungen ein.

Widder	am	21. März.	Wage	am	23. September.
Stier	»	21. April.	Skorpion	»	23. October.
Zwillinge	»	21. Mai.	Schütze	»	22. November.
Krebs	»	21. Juni.	Steinbock	»	21. December.
Löwe	»	22. Juli.	Wassermann	»	21. Januar.
Jungfrau	»	23. August.	Fische	»	19. Februar.

V. Eigenthümlichkeiten in der Bewegung der Sonne.

1. **Die scheinbare Bewegung der Sonne ist schraubenförmig.** Bedenken wir, daß die Sonne, indem sie in der täglichen Bewegung am Himmel einen Tagkreis beschreibt, zu gleicher Zeit in der Ekliptik fortschreitet, tägliche und jährliche Bewegung also gleichzeitig stattfinden, so muß dadurch unsere Vorstellung von den Tagkreisen etwas modificirt werden. Unmöglich können diese, wie bisher angenommen worden, geschlossene Kreise sein; denn dies könnte nur dann der Fall sein, wenn die Sonne an demselben Punkte des Himmels verharrte oder wenigstens ihre Entfernung von dem Aequator nicht änderte, wenn also die Ekliptik mit dem Aequator oder einem andern Parallelkreise zusammenfiele. Da dies indessen nicht der Fall ist, so müssen alle Tagkreise zusammengenommen eine, oder genauer genommen, zwei krumme Linien sein, die den Windungen einer Spirale oder den Gängen einer Schraube gleichen. Man spricht darum von einer spiralförmigen oder schraubenförmigen Bewegung der Sonne. Eine gewöhnliche Sprungfeder kann den eigenthümlichen Weg der Sonne veranschaulichen. Doch durchläuft die Sonne beim Hinabsteigen vom nördlichen zum südlichen Wendekreise nicht dieselben Windungen, in welchen sie vom südlichen zum nördlichen Wendekreise heraufstieg. Im ersteren Falle gleichen die Windungen den Gängen einer sogenannten rechten, im letzteren Falle denen einer linken Schraube. *Fig. 12 a* soll den Weg, den die Sonne beim Hinabsteigen

Fig. 12.



vom 21. Juni bis zum 21. December, *Fig. 12 b* den Weg beim Heraufsteigen vom 21. December bis zum 2I. Juni veranschaulichen. Die 4 Buchstaben *N S O W* sollen in bekannter Weise die Himmelsgegenden bezeichnen.

2. **Folgen dieser Bewegung.** Aus dem Gesagten folgt:

a) Die Tagkreise der Sonne können nicht genau mit dem Aequator parallel sein.

b) Morgen- und Abendweiten sind für denselben Tag nicht genau einander gleich.

c) Vom 21. März bis zum 21. Juni, sowie vom 23. September bis zum 21. Decbr. ist die Abendweite stets etwas größer als die Morgenweite, und zwar im ersteren Zeitraum die nördliche, im letzteren die südliche. Vom 21. Juni bis zum 23. Septbr., sowie vom 21. Decbr. bis zum 21. März ist die Abendweite stets etwas kleiner als die Morgenweite, und zwar im ersteren Zeitraum die nördliche, im letzteren die südliche.

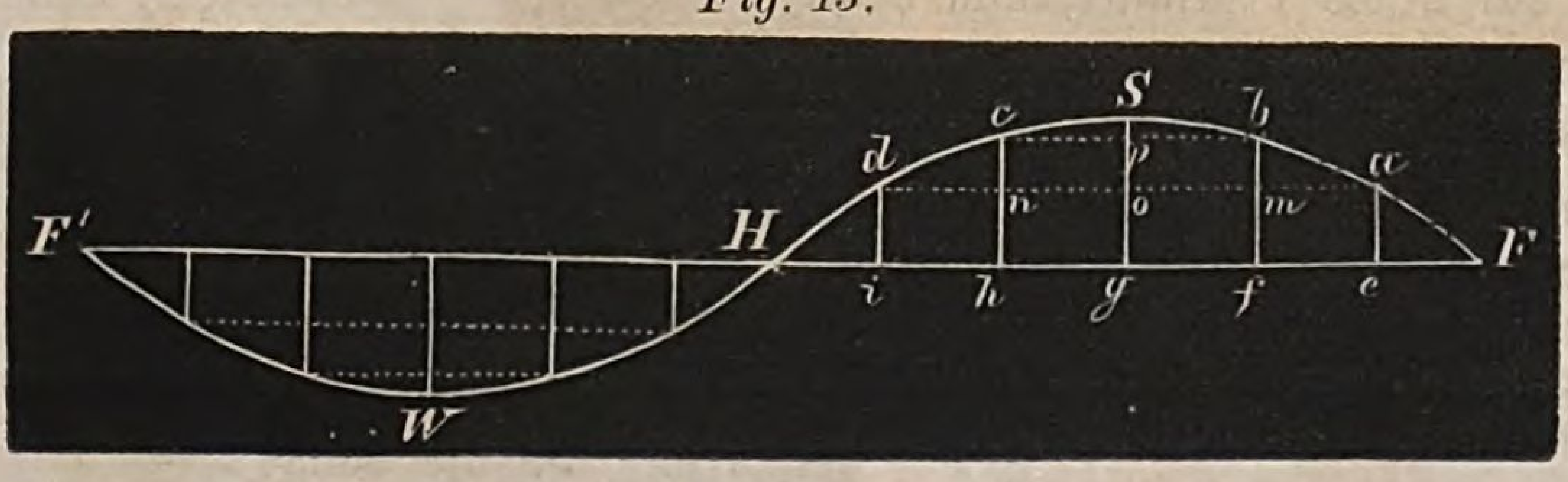
d) Der Vormittag ist nicht immer genau gleich dem Nachmittage. Während der Zunahme der Tage vom 21. Decbr. bis zum 21. Juni sind die Nachmittage länger als die Vormittage; vom 21. Juni bis zum 21. Decbr., während der Abnahme der Tage, die Vormittage länger als die Nachmittage.

e) Die Sonne durchläuft, obwohl sie zwischen den beiden Wendekreisen herauf- und hinabsteigt, nicht zweimal genau denselben Tagkreis.

3. **Eigenthümliche Lage der Ekliptik zum Aequator.** Die Bewegung der Sonne ist, wie wir oben gesehen haben, eine schraubenförmige. Es haben aber die einzelnen, den Tagkreisen entsprechenden Windungen nicht alle eine gleiche Entfernung von einander. Sie sind am weitesten von einander entfernt am Aequator, hingegen am dichtesten an einander gedrängt an den Wendekreisen. In *Fig. 12* hat dies bereits angedeutet werden sollen. Die Ursache hiervon liegt in der eigenthümlichen Lage der Ekliptik zum Aequator. Die Ekliptik durchschneidet den Aequator unter einem Winkel von $23\frac{1}{2}{}^{0}$; um diesen Winkel weicht sie aber nur bei den Aequinoctialpunkten ab. Je weiter sich die Theile der Ekliptik von diesen Punkten entfernen, um so weniger verschieden wird die Richtung beider Kreise; in der Nähe der Solstitialpunkte läuft die Ekliptik fast mit dem Aequator parallel. Wenn darum die Sonne in ihrer Bahn täglich auch gleich viel fortschritte, so würde sie doch ihren Abstand vom Aequator nicht gleichmäßig ändern. Dieser Abstand wächst am schnellsten in der Nähe des Aequators, am langsamsten in der Nähe der Wendekreise.

4. **Veranschaulichung.** *Fig. 13* möge das Gesagte veranschaulichen. Es sei *FHF'* der Aequator, Bogen *FSH* der nördliche, und Bogen *HWF'*

Fig. 13.



der südliche Theil der Ekliptik. Punkt *F* bedeutet den Frühlingspunkt, *H* den Herbstpunkt, *S* den Sommer- und *W* den Winter-Solstitialpunkt. Die Bogen *Fa*, *ab*, *bS*, *Sc*, *cd* und *dH* seien die in den 6 Monaten vom 21. März bis zum 23. Septbr. von der Sonne durchlaufenen Bogen der Ekliptik, die hier als gleich lang angenommen worden sind, was freilich nicht ganz richtig ist, aber hier geschehen kann. Wenn die Sonne in der Ekliptik den Bogen *Fa* zurückgelegt hat, so ist ihre Entfernung vom Aequator = *ea*. Nach Durchlaufung des Bogens *ab* ist ihr Abstand vom Aequator = *fb*, also um das Stück *mb* größer als vorhin, da wegen des Parallelismus von *ef* und *am*, *fm* = *ea* ist. In *S* ist die Sonne um die Größe *gS* vom Aequator entfernt, und diese ist um *pS* größer als *fb*. Vergleicht man die drei Linien *ea*, *mb* und *pS* oder, was dasselbe ist, *go*, *op* und *pS* mit einander, welche die Zunahme der Entfernung vom Aequator bei gleicher Fortschreitung in der Ekliptik bezeichnen; so lehrt der Augenschein, daß *op* kleiner ist als *go*, *pS* aber wieder kleiner als *op*, oder daß der Abstand der Sonne vom Aequator um so weniger zunimmt, je mehr sie sich dem Solstitialpunkte nähert.

Beim Hinabsteigen der Sonne vom Sommer-Solstitialpunkte bis zum Herbstpunkte, also von *S* nach *H*, müssen natürlich ähnliche Verhältnisse, nur in entgegengesetzter Folge, eintreten, wie die Vergleichung der Linien *pS*, *nc* und *id* zeigt. Die Annäherung der Sonne an den Aequator ist fast unmerklich in der Nähe des Solstistialpunktes; sie erfolgt aber um so schneller, je mehr sich die Sonne dem Herbstpunkte nähert.

Daß sich ein ähnlicher Verlauf in dem südlichen Theile der Ekliptik zeigen muß, wird ohne Erklärung durch Betrachtung des entsprechenden Theiles der Fig. 13 klar werden.

5. **Folgerungen.** Die eigenthümliche Lage der Ekliptik zum Aequator hat mancherlei Erscheinungen im jährlichen Sonnenlaufe zur Folge, die bei einiger Aufmerksamkeit leicht wahrgenommen werden können, nämlich: eine ungleichmäßige Zu- und Abnahme der Tageslänge und der damit verbundenen ungleichmäßigen Aenderung der Mittagshöhe, sowie der Morgen- und Abendweite.

Was die Zu- und Abnahme der Tage betrifft, so ist fast allgemein bekannt, daß dieselbe am schnellsten zur Zeit der Aequinoctien, am langsamsten zur Zeit der Solstitien erfolgt. Während sie bei uns etwa einen Monat vor und nach dem Aequinoctium täglich 4 bis 5 Minuten beträgt, vermindert sie sich bei der Annäherung der Sonne an die Solstitien schnell auf 2 bis 1 Minute, und etwa 8 Tage vor und nach den Solstitien ist fast gar keine Veränderung in der Tageslänge wahrzunehmen.

Ebenso ändern sich die Mittagshöhen, sowie die Morgen- und Abendweiten am schnellsten zur Zeit der Aequinoctien und am langsamsten zur Zeit der Solstitien.

6. **Lage der Ekliptik zum Horizonte.** Gleich dem Aequator wird auch die Ekliptik, als ein größter Kreis, von dem Horizonte halbirt; es liegen also 180° von ihr über und ebenso viel unter dem Horizonte, und die Verbindungslinie ihrer Durchschnittspunkte mit dem Horizonte geht stets durch den Standpunkt. Während aber

der Aequator mit dem Horizonte eines Ortes stets denselben Winkel bildet (in Berlin $37\frac{1}{2}^{0}$), ist der Winkel, den die Ekliptik mit dem Horizonte macht, einer steten Aenderung unterworfen. Da die Schiefe der Ekliptik (S. 32) $23\frac{1}{2}^{0}$ beträgt, so kann der letztere Winkel mit dem Horizonte höchstens $23\frac{1}{2}^{0}$ größer und $23\frac{1}{2}^{0}$ kleiner als die Aequatorhöhe, für Berlin also höchstens $37\frac{1}{2}^{0} + 23\frac{1}{2}^{0} = 61^{0}$, und $37\frac{1}{2}^{0} - 23\frac{1}{2}^{0} = 14^{0}$ sein. Zwischen diesen beiden Größen von 14^{0} und 61^{0} schwankt der Winkel täglich hin und her, so daß die tägliche Schwankung 47^{0} beträgt.

Es hat aber eigenthümliche Schwierigkeiten, zu jeder beliebigen Zeit angeben zu können, welcher Theil der Ekliptik oder des Thierkreises über dem Horizonte liegt; welches Zeichen oder welches Sternbild auf- und untergeht oder culminirt; wie groß der Winkel der Ekliptik mit dem Horizonte und nach welcher Himmelsgegend derselbe gerichtet ist u. s. w. Wir wollen hier versuchen, wenigstens einige Hauptlagen der Ekliptik zum Horizonte uns klar zu machen und zu veranschaulichen.

Fig. 14.

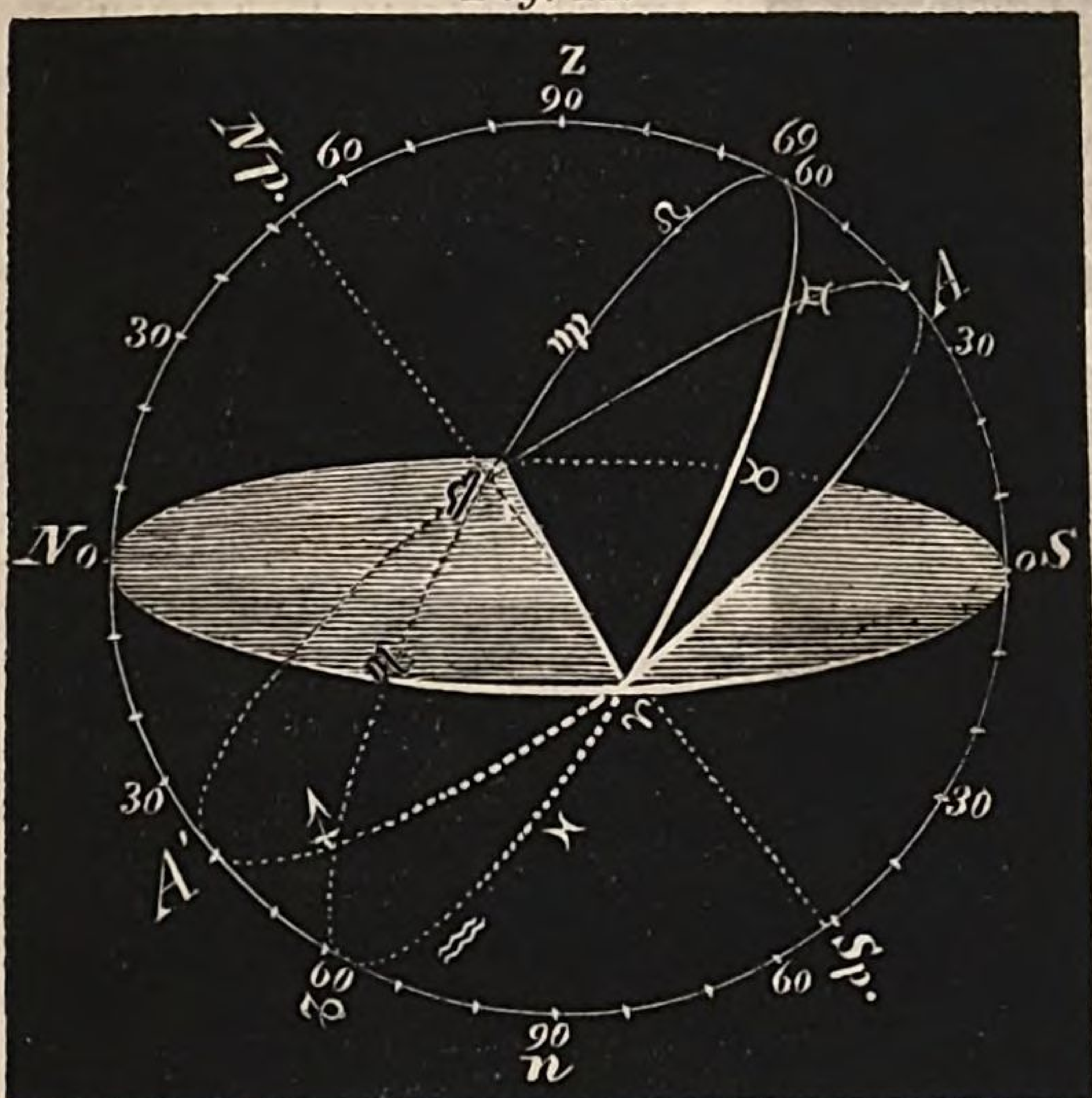
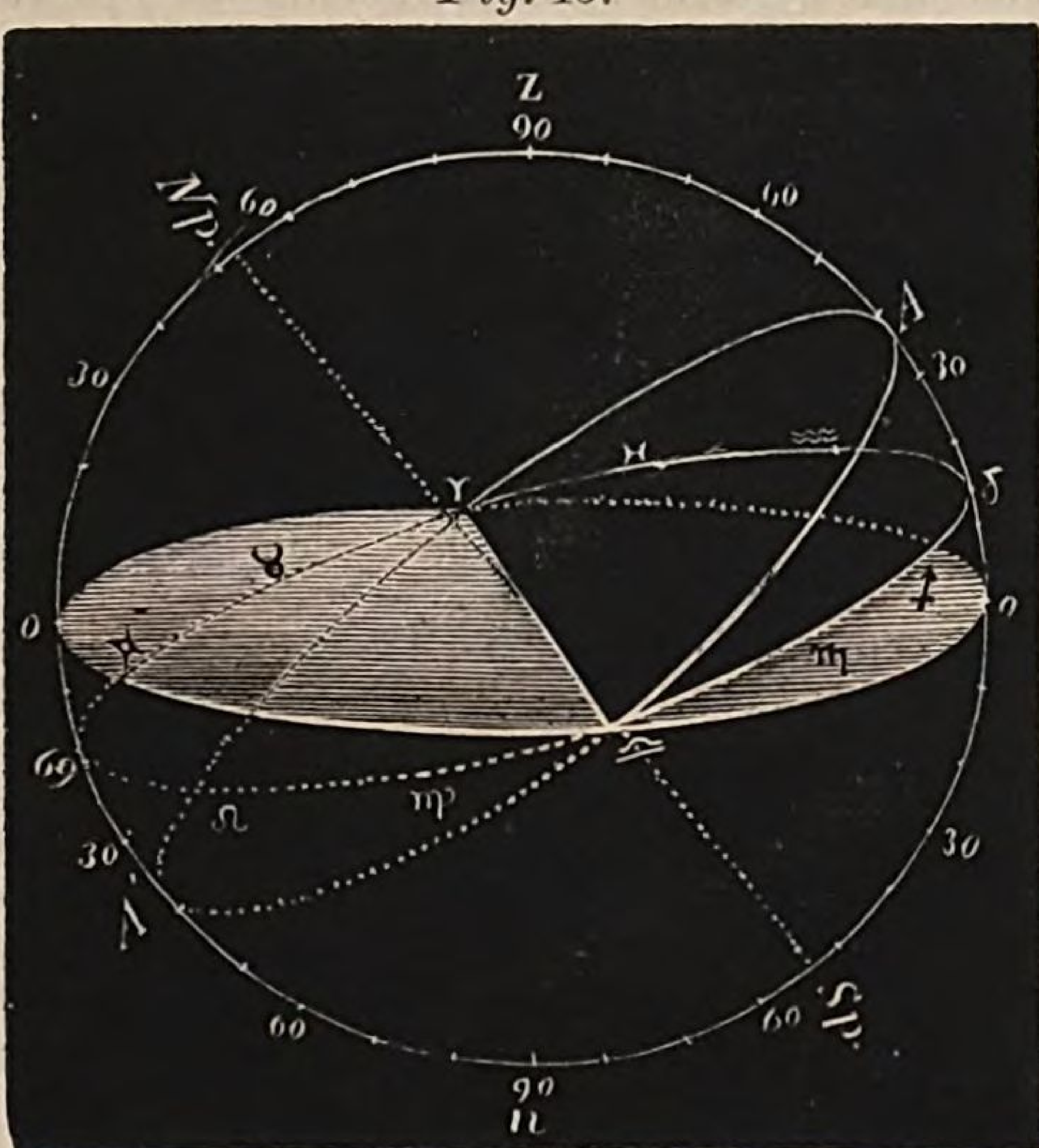


Fig. 15.



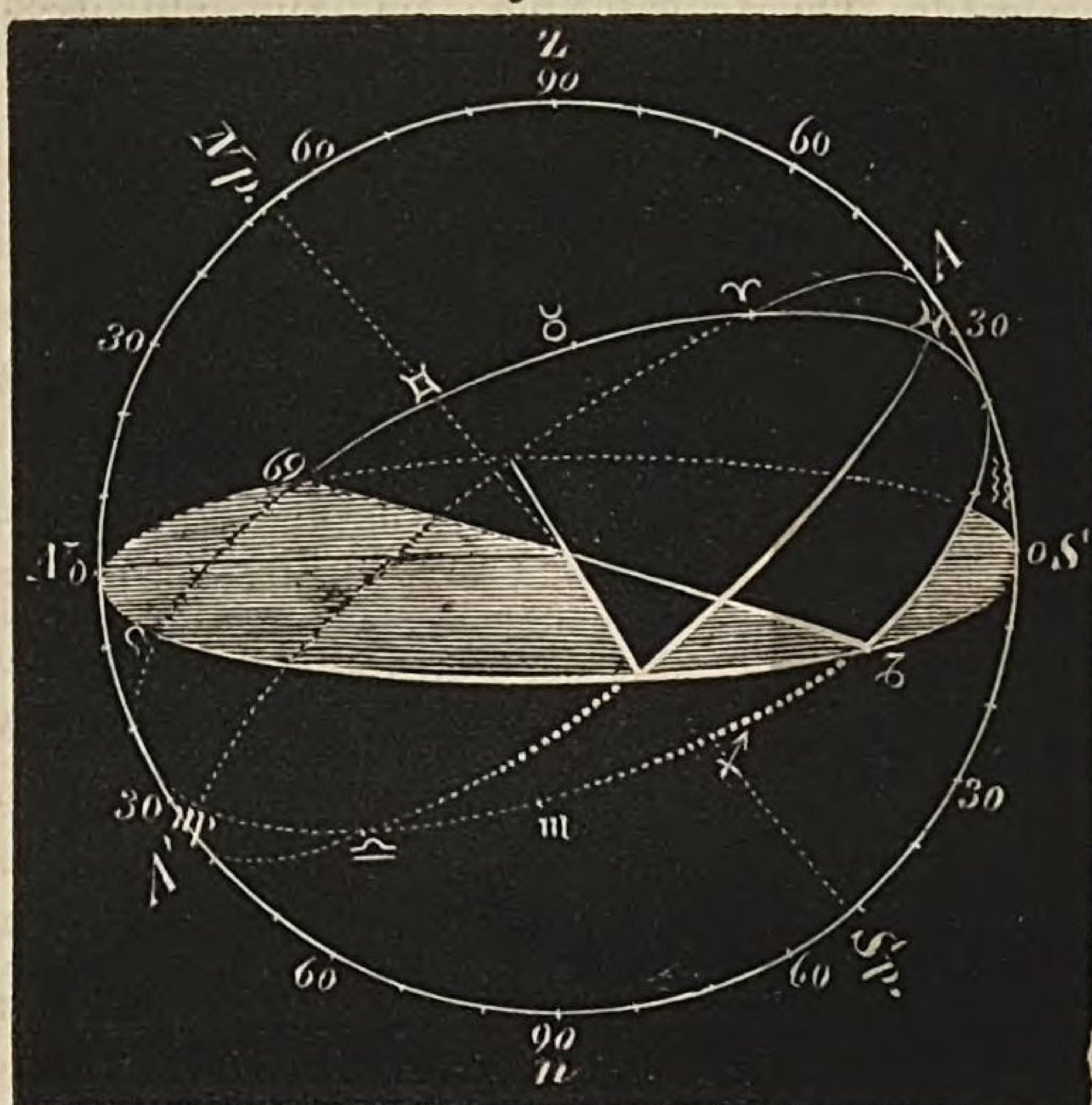
1) Wenn am Abend des 21. März die Sonne um 6 Uhr im Westpunkte untergeht, so nimmt sie den Frühlingspunkt mit hinab, und der Herbstpunkt geht ihm gegenüber im Ostpunkte auf. Die Durchschnittslinie der Ebene des Horizontes mit der der Ekliptik liegt alsdann also genau von O. nach W.; der höchste Pnnkt der Ekliptik im Meridian und ihr Neigungswinkel mit dem Horizonte sind genau nach Süden gerichtet. Es liegt nun gerade die ganze n ö r d l i c h e Hälfte der Ekliptik über, die südliche unter dem Horizonte. Der Sommer-Solstitialpunkt steht in der oberen, der Winter-Solstitialpunkt in der unteren Culmination, und der Neigungswinkel der Ekliptik mit dem Horizonte ist $= 37\frac{1}{2}^{0} + 23\frac{1}{2}^{0} = 61^{0}$; er hat also seinen größten Werth. Diese Lage der Ekliptik stellt Fig. 14 dar. In dieselbe Lage kommt die Ekliptik, da sie an dem Umschwunge des Himmels theilnimmt, täglich einmal, aber in den verschiedenen Jahreszeiten zu verschiedenen Tagesstunden. So ist dies unter andern der Fall am Mittage des 21. Juni, am Morgen 6 Uhr des 23. Septbr., um Mitternacht des 21. Dec. u. s. w.

2) Am Abend 6 Uhr des 23. Sept. geht der Herbstpunkt mit der Sonne im Westpunkte unter und der Frühlingspunkt im Ostpunkte auf. Es liegt also die s ü d l i c h e Hälfte der Ekliptik über dem Horizonte; ihr Neigungswinkel mit dem letzteren ist darum nur $37\frac{1}{2}^{0} - 23\frac{1}{2}^{0} = 14^{0}$ oder er hat seinen kleinsten Werth. Man würde zur genannten Zeit also etwa die südlichen Sternbilder in geringer Höhe über dem

Horizonte erblicken. Der Winter-Solstitialpunkt würde in der oberen, der Sommer-Solstitialpunkt in der unteren Culmination stehen. *Fig. 15* soll diese Lage veranschaulichen. Die Ekliptik hat außer zur genannten Zeit dieselbe Lage unter andern am Morgen 6 Uhr des 21. März, am Mittag des 21. December, um Mitternacht des 21. Juni u. s. w. Aus der vorigen Lage geht die Ekliptik stets nach 12 Std. in diese über.

3) Am Abend des 21. December gegen 4 Uhr geht mit der Sonne der Winter-Solstitialpunkt in 41° südlicher Abendweite, also fast im Südwesten, unter, und ihr gegenüber in 41° nördlicher Morgenweite, also etwa im Nordosten, der Sommer-Solstitialpunkt auf. Es liegt also die Hälfte der nördlichen und die Hälfte der südlichen Zeichen über dem Horizonte. Aber jetzt liegt die Linie, in der sich die Ebene der Ekliptik und die des Horizontes schneiden, nicht, wie in den beiden vorigen Fällen, von O. nach W., sondern von NO. nach SW., und der höchste Punkt der Ekliptik, jetzt der Frühlingspunkt, steht nicht im Meridian, sondern östlich davon. Es liegen etwa vier Zeichen am östlichen, nur zwei am westlichen Himmel. Diese eigenthümliche, durch eine Zeichnung schwer zu veranschaulichende Lage der Ekliptik soll Fig. 16 darstellen. Dieselbe Stellung hat die Ekliptik auch am Morgen des 21. Juni beim Sonnenaufgange, gegen 10 Uhr vormittags des 21. März u. s. w.

Fig. 16.



4) Am Abend des 21. Juni beim Untergange der Sonne hat die Ekliptik eine ähnliche Lage; nur liegt dann ihre Durchschnittslinie mit dem Horizonte von SO. nach NW., und der höchste Punkt der Ekliptik, der Herbstpunkt, liegt westlich vom Meridian.

Diese Andeutungen über die Lage der Ekliptik zum Horizonte mögen genügen. Zeichnungen geben der Vorstellung hier nur geringen Anhalt; man thut deshalb besser, sich an einer *Armillarsphäre* oder einem *Himmelsglobus*, über welchen letzteren bald Näheres gesagt werden wird, die Sache zu veranschaulichen.

Täglich, bei jedem Umschwunge des Himmels, nimmt die Ekliptik alle möglichen Lagen zum Horizonte an; da aber die Sonne täglich einen andern Standpunkt in ihr annimmt, durch die Sonne aber unsere Zeitrechnung bestimmt wird, so tritt dieselbe Lage für jeden andern Tag zu einem anderen Zeitpunkte ein; erst nach Jahresfrist fällt dieselbe Lage wieder auf denselben Zeitmoment. Durch eine aufmerksame Betrachtung der Sternbilder des Thierkreises in verschiedenen Jahreszeiten kann man sich leicht von dem Gesagten überzeugen.

Bei dem steten Wechsel, der in der Lage der Ekliptik zum Horizonte hervortritt, giebt es indessen Einiges, was sich gleich bleibt, und es ist gut, sich dasselbe zu vergegenwärtigen.

Jeder Punkt der Ekliptik beschreibt bei einer Umdrehung der Himmelskugel einen Parallelkreis, und für einen bestimmten Punkt ist es stets derselbe. Es geht also ein solcher Punkt fortwährend in demselben Punkte des Horizontes auf und unter, und culminirt stets in gleicher Höhe. — Die Aequinoctialpunkte gehen täglich im Ostpunkte auf und im Westpunkte unter, und culminiren in einer Höhe von $37^1/_2$°, da ihr Tagkreis der Aequator ist. — Der Sommer-Solstitialpunkt passirt den Horizont stets in 41° nördlicher Morgen- und 41° nördlicher Abendweite und erreicht, den nördlichen Wendekreis beschreibend, bei seiner oberen Culmination eine Höhe von 61°. — Der Winter-Solstitialpunkt geht in 41° südlicher Morgen- und Abendweite auf und

unter. Bei seiner Culmination erreicht er stets eine Höhe von 14°, und sein Tagkreis ist der südliche Wendekreis. — Die Durchschnittspunkte der Ekliptik mit dem Horizonte rücken fortwährend durch einen Bogen des Horizontes von 82° hin und her, und die Durchschnittspunkte mit dem Meridian durch einen Bogen des Meridians von 47° hinauf und herab.

Wenn wir bei der Ekleptik so lange verweilten, so geschah es, weil man eine deutliche Vorstellung von der scheinbaren Bewegung der Sonne und des Mondes nicht gewinnen kann, ohne sich über ihre Lage zum Aequator und zum Horizonte recht aufgeklärt zu haben; außerdem wird dadurch auch das Auffinden der Sternbilder des Thierkreises erleichtert.

7. **Der Himmelsglobus.** Wir haben den Himmelsglobus bereits als ein Mittel genannt, die Lage der Ekliptik, sowie den ganzen scheinbaren Lauf der Sterne sich zu veranschaulichen, und wollen deshalb über seine Einrichtung und seinen Gebrauch das Nothwendigste mittheilen.

Den Hauptbestandtheil des Himmelsglobus bildet eine Kugel, deren Oberfläche den Himmel mit seinen wichtigsten Fixsternen und Sternbildern darstellt. Auf dieser Kugel sind außer mehreren später zu erwähnenden Kreisen der Aequator, die Ekliptik und die wichtigsten derjenigen Kreise angegeben, welche wir bisher Parallelkreise genannt haben. Besonders markirt pflegen 2 Punkte zu sein, die von der Ekliptik 90° entfernt sind und die Pole der Ekliptik genannt werden. Aequator und Ekliptik sind ferner in 360° getheilt. Die eigentliche Kugel ist mit einem Messingreifen umgeben, welcher den Meridian vorstellt und in 360° getheilt ist. In diesem Meridian ist die Kugel an zwei entgegengesetzten Punkten, welche die beiden Pole bezeichnen, befestigt und zwar dergestalt, daß die Kugel frei in ihm gedreht werden kann. Mit dem Meridian ist ferner gewöhnlich ein Stundenring von Messing verbunden, der so angebracht ist, daß der Nordpol sein Mittelpunkt ist. Der Umfang dieses Ringes ist zunächst in 24 gleiche Theile getheilt, die den 24 Stunden des Tages entsprechen sollen und entweder die Ziffern von 1 bis 24, oder zweimal von 1 bis 12 tragen, und zwar in der auf den Zifferblättern unserer Uhren sich findenden Richtung. Die beiden Ziffern 12, oder 24 und 12, sind so angebracht, daß sie gerade unter dem Meridian liegen, woraus sich die Lage der übrigen Ziffern von selbst ergiebt. Um auch Halbe- und Viertelstunden angeben zu können, ist der Raum zwischen je 2 Ziffern in 4 gleiche Theile getheilt worden. Zwischen dem Meridian und dem Stundenringe befindet sich ein Zeiger, der an der Achse so befestigt ist, daß er sich mit derselben bei Umdrehung der Kugel herumdreht, aber auch, wie die Zeiger einer Uhr, mit den Fingern vor- und rückwärts gedreht werden kann.

Ein zweiter Haupttheil des Globus ist ein Gestell, das verschiedene Gestalt haben kann. Den obersten Theil desselben bildet gewöhnlich ein flachliegender Ring von einigen Zoll Breite, dessen oberste Fläche die Horizontebene vorstellt. Der innere Rand des Ringes ist in 360° getheilt, und auf der Fläche desselben sind die Himmelsgegenden, gewöhnlich auch noch die 12 Monate des Jahres und die ihnen entsprechenden Sternbilder des Thierkreises angegeben.

An zwei einander gegenüberliegenden Stellen des ebenen Ringes, beim Nord- und Südpunkte, finden sich Einschnitte, in welche der Meridian paßt, damit es möglich werde, die vorher beschriebene Kugel in den Ring einzusetzen, und durch eine besondere Vorrichtung ist dafür gesorgt, daß die Kugel nicht über die Hälfte unter den Horizont sinken kann. Um dem Meridian genau die Richtung von Süden nach Norden geben zu können, und dadurch eine Uebereinstimmung der Lage der auf der Kugel verzeichneten Sterne mit den Sternen des Himmels zu ermöglichen, ist an dem Fußgestelle gewöhnlich ein kleiner Compaß befestigt.

Um nun die bisher beschriebenen Bewegungen der Sterne und der Sonne für Berlin an dem Globus darstellen zu können, stelle man zunächst die Kugel durch Drehung des Meridians so, daß der Nordpol $52^1/_2{}^0$ über dem Horizonte liegt; dann werden der Aequator und die übrigen Kreise von selbst in die richtige Lage kommen. Damit aber die Lage der Kreise auf der Kugel mit der Lage der entsprechenden Kreise am Himmel übereinstimme, drehe man das Fußgestell so weit herum, bis der Meridian die Richtung der Magnetnadel hat und der Nordpol nach Norden gerichtet ist.*) Dreht man nun die Kugel mit der Hand von O. nach W. herum, so können die scheinbaren Bewegungen der Gestirne, wie sie früher beschrieben worden, verfolgt werden.

Will man die Lage der Ekliptik für einen bestimmten Tag an dem Globus erkennen, so kommt es zunächst darauf an, den Punkt der Ekliptik zu finden, in welchem die Sonne an diesem Tage steht. Die Auffindung dieses Punktes kann keine Schwierigkeit haben, da die Zeichen der Ekliptik auf dem Globus markirt und S. 36 die Data angegeben worden sind, an welchen die Sonne in die einzelnen Zeichen zu treten pflegt. Die einzelnen Grade der Ekliptik können dabei, da es auf zu große Genauigkeit nicht ankommt, als den einzelnen Tagen des Jahres entsprechend angesehen werden.

Wenn man die Lage der Ekliptik während des 21. März betrachten will, so muß man zunächst den Frühlingspunkt suchen; darauf bringe man denselben durch Drehung der Kugel unter den Meridian und stelle den genannten Zeiger nach der Richtung jenes Punktes auf 12, also ebenfalls unter den Meridian. Dreht man nun die Kugel soweit nach Westen herum, bis der Frühlingspunkt untergeht, was um 6 Uhr im Westpunkte geschieht, so hat die Ekliptik die in *Fig. 14* dargestellte Lage. Nach einer halben Umdrehung der Kugel geht der Frühlingspunkt um 6 Uhr morgens im Ostpunkte auf, und die Ekliptik liegt, wie in *Fig. 15.* Dreht man die Kugel so weit von O. nach W. herum, bis der Zeiger etwa 10 Uhr vormittags zeigt, so nimmt die Ekliptik die in *Fig. 16* dargestellte Lage an u. s. w.

In der angedeuteten Weise kann man auch für jeden beliebigen Tag des Jahres die Lage des Tagkreises der Sonne, die Zeit ihres Auf- und Unter-

*) Wer den Globus genauer orientiren will, muß die Deklination der Magnetnadel beachten, welche gegenwärtig etwa 13^0 beträgt (s. S. 15).

gangs, die Größe der Morgen- und Abendweite, sowie die Lage der Ekliptik zum Horizonte erkennen. Die Hauptsache dabei ist stets, daß man den entsprechenden Punkt der Ekliptik und den Zeiger unter den Meridian bringt.

Deutlicher und naturgemäßer würden sich alle scheinbaren Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen an einer von mir construirten Armillarsphäre veranschaulichen lassen, über welche im Anhange des Buches etwas Näheres mitgetheilt worden ist.

8. **Angabe der geographischen Lage einiger wichtigen europäischen Städte.** Bisher sind die Erscheinungen, da von einem bestimmten Orte ausgegangen werden mußte, für den Horizont von Berlin dargestellt worden. Es ist aber leicht, die dabei angegebenen Zahlenwerthe für Polhöhe, Aequatorhöhe, Zenith-Distanzen des Pols und des Aequators, für Mittagshöhe der Sonne u. s. w. für jeden andern Ort zu finden, wenn die geographische Breite des Ortes bekannt ist, da, wie hier schon angedeutet werden mag, die geographische Breite eines Ortes stets seiner Polhöhe gleich ist. Aus dieser können aber mit Benutzung der Seite 17 genannten Sätze die übrigen Größen leicht bestimmt werden. Es schien mir deshalb zweckmäßig, hier die geographische Lage einiger wichtigen Städte Europas anzugeben.

Ort.	Breite.		Ort.	Breite.		Ort.	Breite.	
	°	′		°	′		°	′
Aachen . .	50	47	Hamburg . .	53	33	Odessa . . .	46	29
Amsterdam .	52	22	Hannover . .	52	22	Palermo . .	38	7
Athen . . .	38	4	Königsberg .	54	42	Paris . . .	48	50
Bern . . .	46	56	Kopenhagen .	55	41	Petersburg .	59	46
Breslau . .	51	6	Lissabon . .	38	42	Prag . . .	50	5
Brüssel . .	50	50	London . .	51	30	Regensburg .	49	0
Cöln . . .	50	56	Lyon . . .	45	45	Rom . . .	41	54
Constantinopel	41	0	Madrid . .	40	25	Stettin . . .	53	25
Danzig . . .	54	21	Magdeburg .	52	7	Stockholm .	59	20
Dresden . .	51	3	Merseburg .	51	22	Stuttgart . .	48	46
Dublin . . .	53	23	Minden . .	52	17	Tornea . . .	65	51
Düsseldorf .	51	13	Moskau . .	55	45	Weimar . .	50	59
Edinburg . .	55	37	München . .	48	8	Wien . . .	48	12
Erfurt . . .	50	58	Neapel . . .	40	52	Zürich . . .	47	22

Zweites Kapitel.

Von der scheinbaren Bewegung des Mondes.

I. Veränderlicher Lauf des Mondes.

1. **Veränderlichkeit im Laufe des Mondes.** Nach S. 7 wissen wir bereits vom Monde, daß er, wie alle Sterne des Himmels, täglich einen Tagkreis von O. nach W. durchläuft oder daß er an der täglichen Rotation der Himmelskugel theilnimmt. Verfolgen wir indessen seinen Lauf während eines Monats genauer, so werden wir in der Lage seiner Tagkreise zum Horizonte, in Beziehung auf die Zeit, welche er über dem Horizonte verweilt, sowie in der Höhe, zu welcher er bei seiner Culmination emporsteigt, einen großen Wechsel wahrnehmen, der indessen im ganzen demjenigen ähnlich ist, welcher sich bei den entsprechenden Größen im jährlichen Sonnenlaufe erkennen läßt. Setzt man die Beobachtung ein Jahr lang fort, so wird man für die einzelnen Monate wieder mancherlei Abweichungen bemerken, besonders wenn man die von dem Monde in den einzelnen Phasen durchlaufenen Tagkreise beachtet. Bei diesem beständigen Wechsel im scheinbaren Mondlaufe genügt es darum nicht, den Verlauf seiner Bewegungen für einen einzelnen Monat darzustellen; denn schon für zwei auf einander folgende Monate treten in die Augen fallende Verschiedenheiten hervor. Bei der Sonne ist die Sache einfacher. Zwar machen sich auch bei ihr im Laufe der Jahrhunderte mancherlei Aenderungen im jährlichen Laufe bemerkbar; dieselben sind aber so unbedeutend, daß sie während der Dauer eines Menschenlebens kaum wahrgenommen werden. Hat man also den Lauf der Sonne für ein Jahr klar aufgefaßt, so behält dies für lange Zeit im ganzen seine Giltigkeit. Anders ist es beim Monde. Auf Vollständigkeit in der Darstellung seines scheinbaren Laufes müssen wir hier verzichten; das Spätere wird über die Sache erst das rechte Licht verbreiten.

2. **Mondlauf im März und April 1856.** Als eine geeignete Zeit für die Beschreibung des Mondlaufes erscheint der 21. März 1856, da an diesem Tage der Vollmond mit dem Beginne des Frühlings nahe zusammenfiel.

Am Abend des 21. März genannten Jahres ging die Sonne um 6 Uhr 14 Minuten etwa im Westpunkte unter, und ihr gegenüber oder 180° von ihr entfernt, der Mond als Vollmond etwa im Ostpunkte um 6 Uhr 9 Min. auf.

Er stieg dann vor Mitternacht höher und höher am Himmel hinauf und erreichte etwa um Mitternacht eine Höhe, die ungefähr der Aequatorhöhe gleich war. Nach der Culmination senkte er sich zum Horizonte hinab und erreichte denselben am nächsten Morgen kurz nach Sonnenaufgang um 6 Uhr 12 Min. nahe dem Westpunkte. Er hatte also etwa 12 Stunden über dem Horizonte verweilt, und sein Tagkreis fiel ungefähr mit dem Himmelsäquator zusammen.

Am 22. März erfolgte der Aufgang des Mondes erst um 7 Uhr 19 Min., d. i. 70 Min. später als am vorigen Tage, und zwar in einem Punkte des

Horizontes, der südlich vom Ostpunkte lag. Der Mond hatte also südliche Morgenweite bekommen, während die Sonne nördliche Morgen- und Abendweite besaß. Zugleich war am Monde eine geringe Abnahme des Lichtes an seiner rechten Seite bemerkbar; es hatte also der abnehmende Mond begonnen. Den Meridian erreichte der Mond nicht, wie am vorigen Tage, um Mitternacht, sondern etwa 50 Minuten später. Seine Höhe war dabei kleiner als am Tage zuvor; denn sein Tagbogen lag südlich vom Aequator, aber etwa parallel mit diesem. Der Untergang des Mondes erfolgte 8 Minuten später als am vorigen Tage, nämlich um 6 Uhr 20 Min. morgens, und zwar südlich vom Westpunkte. Seine Entfernung von der Sonne betrug, in der Reihenfolge der Zeichen der Ekliptik gemessen, mehr, in der entgegengesetzten Richtung gezählt, weniger als 180°.

Mit jedem folgenden Tage verringerte sich die Entfernung des Mondes von der Sonne; er ging in den ersten 7 Tagen nach dem Vollmond etwa 70 Minuten später als am vorigen Tage auf, und etwa 50 Minuten später durch den Meridian. Dabei ward die Morgen- und Abendweite immer mehr südlich, seine Höhe, sowie die Zeit, die er über dem Horizonte verweilte, immer kleiner; auch nahm er mit jedem Tage mehr ab.

Etwa 7 Tage nach dem 21. März, am 29. morgens, betrug die Entfernung des Mondes von der Sonne, gegen die Ordnung der Zeichen gezählt, nur noch 90°. Er ging dann als letztes Viertel nach Mitternacht, um 2 Uhr 45 Min. morgens, etwa im SO. auf, erreichte nach 6 Uhr morgens, kurz nach Sonnenaufgang, den Meridian in einer Höhe, die nahezu der der Sonne am 21. Decbr. gleich war, und ging im Laufe des Vormittags gegen 9 Uhr im SW. unter. Man konnte also am genannten Tage in den ersten Vormittagsstunden Sonne und Mond zugleich am Himmel stehen sehen. Der Tagkreis des Mondes als letztes Viertel war nahezu der südliche Wendekreis.

In den nun folgenden Tagen nahm der Mond immer mehr ab, indem er sich zugleich täglich sehr merklich der Sonne näherte. Er ging deshalb immer kürzere Zeit vor der Sonne auf; aber die tägliche Verspätung seines Aufganges betrug nun nicht mehr über eine Stunde, sondern sie nahm allmählich bis auf etwa 10 Minuten ziemlich rasch ab, wie man aus dem Kalender ersehen kann, der die Auf- und Untergangszeit des Mondes und der Sonne für jeden Tag angiebt. Dagegen ward die tägliche Verspätung des Unterganges nach dem letzten Viertel allmählich sehr beträchtlich (sie kann bedeutend über eine Stunde wachsen). In Beziehung auf den Meridian aber verspätete sich der Mond täglich fast gleich viel, nämlich ungefähr 50 Minuten. — Bei der oben genannten Annäherung des Mondes an die Sonne näherte sich sein Tagkreis wieder dem Aequator, und Morgen- und Abendweite wurden immer kleiner. Die Sichel des Mondes ward aber zuletzt so schmal, daß es schwer hielt, sie in den Strahlen der Morgendämmerung zu sehen. Es trat daher die Nothwendigkeit ein, die Beobachtung einige Tage auszusetzen. Während dieser Zeit mußte der Mond die Sonne erreicht haben und Neumond eingetreten

sein. Es geschah dies in den ersten Morgenstunden des 5. April, und die an diesem Tage eingetretene Sonnenfinsternis, die leider in Europa nicht sichtbar war, gab Zeugnis von der Zusammenkunft des Mondes mit der Sonne. Etwa 2 Tage nach dem Neumond, am 7. April, erschien der Mond am Abendhimmel östlich von der Sonne (bisher stand er westlich von ihr) in Gestalt einer schmalen, nach der Sonne ausgebogenen Sichel, deren Spitzen man die Hörner des Mondes zu nennen pflegt. Zugleich sah man den übrigen Theil der Mondscheibe in einem matten, grauen Lichte leuchten. Man nennt dieses eigenthümliche Licht das aschgraue Licht des Mondes; doch scheint die Sichel, aus optischen Gründen, einer größeren Scheibe anzugehören, als der matt leuchtende Theil der Mondscheibe.

Da der Aufgang des Mondes nach dem Neumonde bei Tage stattfand, so war es schwer, den Aufgang genau zu bemerken. Sein Untergang aber erfolgte, nachdem er am Abendhimmel einige Stunden geleuchtet, nördlich vom Westpunkte, da der Tagkreis nördlich vom Aequator lag.

Von Tag zu Tag wuchs die Entfernung des Mondes von der Sonne, während zugleich die Sichel breiter und breiter ward. Er ging dabei immer später nach der Sonne unter, in den ersten Tagen gegen 90 Minuten, in den folgenden Tagen weniger spät. Zugleich rückten die Tagkreise des Mondes immer weiter nach Norden vom Aequator, und seine Höhe im Meridian nahm täglich zu.

Etwa 7 Tage nach dem Neumonde, am 12. April, war der Mond als erstes Viertel 90^0 östlich von der Sonne entfernt. Als solcher erreichte er kurz vor Sonnenuntergang den Meridian in einer Höhe, die der der Sonne am 21. Juni nahe gleich war, und er durchlief nun einen Tagkreis, der nur wenig von dem nördlichen Wendekreise abwich. Der Untergang erfolgte erst gegen 3 Uhr morgens etwa im NW., nachdem er ungefähr $17^1/_2$ Stunde über dem Horizonte verweilt hatte.

In den folgenden Tagen wuchs, wie seine Lichtgestalt, so auch seine Entfernung von der Sonne. Er stand bei Sonnenuntergang am östlichen Himmel und spendete mit jedem Tage der Erde länger sein mildes Licht. Doch erreichte er nicht mehr eine so bedeutende Höhe, wie im ersten Viertel; denn seine Tagkreise näherten sich wieder dem Aequator. Am 18. April, einige Tage vor dem Vollmonde, durchlief er wieder den Aequator, den er im vorigen Monat als Vollmond beschrieb.

Als nächster Vollmond, der etwa 7 Tage nach dem ersten Viertel, am 20. April, eintrat, stand der Mond der Sonne wieder gerade gegenüber oder er war 180^0 von ihr entfernt. Die am 20. April eingetretene, für uns nicht sichtbare Mondfinsternis findet in dieser Stellung ihre Erklärung. Der Mond ging als Vollmond wieder auf, als die Sonne unterging, doch nicht, wie im vorigen Monate, nahe dem Ostpunkte, sondern fast 20^0 südlich davon. Der Mond hatte nun in Beziehung auf die Sonne einen Umlauf am Himmel vollendet und trat nun, aber in etwas veränderter Weise, von neuem seine Bahn an.

Er hatte zu einem Umlaufe eine Zeit von $29\frac{1}{2}$ Tag oder einem Monat gebraucht.

3. **Zusammenfassung.** Fassen wir aus dem Gesagten die wichtigsten Thatsachen noch einmal kurz zusammen, so ergiebt sich, wenn wir die Sache zugleich ein wenig verallgemeinern, Folgendes:

1) Alle Tagkreise des Mondes liegen ungefähr zwischen den beiden Wendekreisen; zwischen ihnen schreitet der Mond innerhalb eines Monats in Kreisen (?), die dem Aequator nahezu parallel laufen, hinauf und herab, so daß er einen halben Monat nördlich und ebenso lange südlich vom Aequator verweilt.

2) Die Morgen- und die Abendweite des Mondes sind einen halben Monat lang nördlich und ebenso lange südlich; die Größe derselben ist ungefähr der der Sonne gleich.

3) Als Vollmond steht der Mond der Sonne stets gerade gegenüber. Er geht auf, wenn die Sonne untergeht, und scheint die ganze Nacht hindurch. Für den oben angenommenen Zeitpunkt ist sein Tagkreis etwa der Aequator.

4) Als letztes Viertel ist der Mond stets 90° westlich von der Sonne entfernt; sein Tagkreis war für die genannte Zeit nahezu der südliche Wendekreis, und er erreichte daher nur eine geringe Höhe im Meridian.

5) Als Neumond steht der Mond immer bei der Sonne; er geht mit ihr zusammen auf und unter, und der Tagkreis war für die bezeichnete Zeit nahezu der Aequator.

6) Als erstes Viertel beträgt die östliche Entfernung des Mondes von der Sonne stets 90°; sein Tagkreis lag nahe dem nördlichen Wendekreise, und er erreichte eine bedeutende Höhe im Meridian.

7) Der Mond geht täglich etwa 50 Minuten später durch den Meridian; die tägliche Verspätung des Auf- und Unterganges aber ist sehr verschieden.

Diesen Sätzen wollen wir, um wenigstens die hauptsächlichsten Erscheinungen des Mondlaufes zusammenzustellen, unter drei neuen Annahmen noch folgende in der Kürze anschließen.

4. **Verschiedene Annahmen.**

I. Wenn der Vollmond am 21. Juni, am Anfange des Sommers, eintritt, so geht der Mond:

Als Vollmond der Sonne gegenüber etwa im SO. auf und im SW. unter. Sein Tagkreis ist nahezu der südliche Wendekreis; er erreicht nur eine geringe Höhe im Meridian und verweilt kaum 7 Stunden lang über dem Horizonte.

Als letztes Viertel durchläuft der Mond, 90° von der Sonne nach W. entfernt, als Tagkreis ungefähr den Aequator, geht darum nahe dem Ostpunkte auf und nahe dem Westpunkte unter, und verweilt etwa 12 Stunden über dem Horizonte.

Als Neumond steht der Mond wieder bei der Sonne, und sein Tagkreis fällt nahezu mit dem nördlichen Wendekreise zusammen.

Als erstes Viertel durchläuft der Mond, 90° östlich von der Sonne abstehend, wiederum, wie im letzten Viertel, ungefähr den Aequator.

II. Wenn der Vollmond am 23. Septbr., dem Anfange des Herbstes, eintritt, so durchläuft der Mond:

Als Vollmond und Neumond ungefähr den Aequator, als erstes Viertel den südlichen, als letztes Viertel den nördlichen Wendekreis.

III. Fällt der Vollmond mit dem Winter-Solstitium zusammen, so durchläuft der Mond:

Als Vollmond den nördlichen Wendekreis, erreicht dann im Meridian eine sehr beträchtliche Höhe und scheint vom Sonnenunter- bis zum Sonnenaufgange etwa 17 Std. lang.

Als Neumond durchläuft er mit der Sonne ungesehen den südlichen Wendekreis.

Als erstes und letztes Viertel hingegen ist sein Tagkreis etwa der Aequator.

II. Von der Mondbahn.

1. **Doppelte Bewegung des Mondes.** Dies sind in großen Zügen die Thatsachen, die sich bei einiger Aufmerksamkeit im Mondlaufe wahrnehmen lassen. Die Uebereinstimmung, welche sich dabei mit dem scheinbaren Sonnenlaufe erkennen läßt, namentlich der Umstand, daß der Mond zwischen den beiden Wendekreisen spiralförmig herauf- und hinabsteigt, führt auf die Vermuthung, daß er, ähnlich wie die Sonne, von Parallelkreis zu Parallelkreis fortschreiten werde, um täglich einen neuen Tagkreis zu durchlaufen. Diese Vermuthung ist vollkommen gerechtfertigt; denn auch an dem Monde nimmt man eine zweifache Bewegung wahr, eine tägliche von O. nach W. gerichtete, bei welcher er täglich, genauer in 24 Std. 50 Min., einen Tagkreis durchläuft, und eine monatliche von W. nach O. gehende, durch welche er seine Stellung zu den Fixsternen täglich ändert und im Laufe eines Monats einen Kreis, die Mondbahn, am Himmel beschreibt. Hierbei tritt der günstige Umstand ein, daß man die Stellung des Mondes zu den Sternen unmittelbar erkennen kann, da sein mildes Licht wenigstens die größeren Sterne nicht überstrahlt.

2. **Die Mondbahn.** Aus dem Obigen wissen wir, daß die Entfernung des Mondes von der Sonne sich täglich ändert. Als Neumond steht er stets bei der Sonne; aber einige Tage nach demselben wird er östlich von der Sonne als schmale Sichel nach Sonnenuntergang am Abendhimmel gesehen. Mit jedem folgenden Tage wächst seine Entfernung von der Sonne, und täglich sieht man ihn bei neuen Fixsternen stehen; ja bei einiger Aufmerksamkeit kann man, falls er in der Nähe eines helleren Sternes steht, schon nach einigen Stunden ein Fortschreiten von W. nach O. in Beziehung auf die Fixsterne wahrnehmen. Diese west-östliche Bewegung des Mondes ist so beträchtlich, daß sie schon

nach 24 Std. einen Bogen am Himmel beträgt, der etwa 26mal dem scheinbaren Monddurchmesser gleich ist. Verfolgt man einen Monat lang diese Bewegung des Mondes, und achtet man auf die Sterne, an denen er während eines Monats vorübergeht, so findet man, daß sie in einem größten Kreise liegen, der nahezu mit der Ekliptik zusammenfällt, und der die Mondbahn genannt wird. In dieser schreitet er täglich etwa 13° fort, und hierin liegt der Grund, warum er täglich etwa 50 Min. später durch den Meridian und täglich später auf- und untergeht.

Der Mond durchläuft also während eines Monats alle die Sternbilder, welche die Sonne innerhalb eines Jahres durchschreitet, und nie tritt er aus dem Thierkreise heraus. Man pflegt deshalb seine Stellung am Himmel nach denselben 12 Zeichen anzugeben, die wir bereits kennen, und es ist nicht schwer, das Zeichen der Ekliptik zu bestimmen, in welchem der Mond in irgend einer Phase steht, wenn das Alter des Mondes, d. h. die Zeit, welche seit dem Neumonde verflossen, bekannt ist.

3. Stellung des Mondes zur Sonne in den einzelnen Phasen. Als Neumond steht der Mond stets bei der Sonne, also in demselben Zeichen oder in Conjunction (☾ ☌) mit ihr. Als erstes Viertel ist er der Sonne stets 90° oder 3 Zeichen voraus: er steht in Quadratur mit der Sonne. Als Vollmond steht er 180° oder 6 Zeichen von der Sonne ab: er steht in Opposition (☾ ☍) oder im Gegenschein mit ihr. Als letztes Viertel endlich ist der Mond der Sonne, in der Richtung seiner monatlichen Bewegung gerechnet, 270° oder 9 Zeichen voraus, steht also, von O. nach W. gezählt, nur 3 Zeichen von der Sonne entfernt.

Hat man sich dies gemerkt, so wird dadurch Licht über die oben S. 44 etc. mitgetheilte Beschreibung des Mondlaufes verbreitet; führen wir ihn uns mit Beziehung auf die Zeichen der Ekliptik in der Kürze noch einmal vor!

4. Der Mondlauf in Beziehung auf die Zeichen der Ekliptik. Am 21. März steht die Sonne im Frühlingspunkte, dem Anfangspunkte des Widders; mithin stand am genannten Tage der Vollmond der Sonne gegenüber im Herbstpunkte, in dem Anfangspunkte der Wage; er mußte daher den Aequator als Tagkreis durchlaufen. Beim letzten Viertel, 7 Tage nach dem Vollmonde, war die Sonne bereits etwa 7° in das Zeichen des Widders gerückt, und der Mond mußte daher, um 90° westlich von der Sonne entfernt zu sein, den Winter - Solstitialpunkt bereits überschritten haben und etwa 7° in das Zeichen des Steinbocks gerückt sein. Der Tagkreis des Mondes mußte nahezu mit dem südlichen Wendekreise zuzammenfallen.

Beim nächsten Neumonde stand die Sonne etwa in der Mitte des Widders, und ebendaselbst befand sich auch der Mond. Sein Tagkreis konnte nun nicht mehr genau der Aequator sein, sondern mußte ein wenig nördlich von ihm liegen.

Als erstes Viertel, 22 Tage nach dem Vollmonde, befand sich die Sonne im letzten Drittel des Widders, der Mond also, 90° von ihr nach O. entfernt,

im letzten Drittel des Krebses; er hatte also den Sommer-Solstitialpunkt bereits überschritten; doch lag sein Tagkreis noch nahe dem nördlichen Wendekreise, und er mußte daher eine große Höhe im Meridian erreichen.

Beim nächsten Vollmonde stand die Sonne am Ende des Widders; jener mußte also in den letzten Graden der Wage eintreten. Das folgende letzte Viertel aber konnte nicht, da die Sonne bereits in den Stier getreten war, wie im vorigen Monate, in dem Steinbock, sondern mußte im Wassermann erfolgen u. s. w.

Aus dem Gesagten wird klar werden, daß sich im allgemeinen die Zeichen der Ekliptik, in denen sich die einzelnen Phasen ereignen, mit jedem Monat ungefähr um 1 Zeichen verschieben.

Daß der Vollmond im Winter hoch am Himmel hinaufsteigt und lange scheint, im Sommer hingegen nur eine geringe Höhe im Meridian erreicht und nach wenigen Stunden schon wieder untergeht, wird nach dem Obigen auch erklärlich sein. Ist nämlich am 21. Decbr. Vollmond, so muß der Mond beim Sommer-Solstitialpunkte stehen und, etwa den nördlichen Wendekreis beschreibend, lange über dem Horizonte verweilen; tritt dagegen Vollmond am 21. Juni ein, so steht er beim Winter-Solstitialpunkte und durchläuft in diesem etwa den südlichen Wendekreis in geringer Höhe über dem Horizonte. Es ist vom Schöpfer also vortrefflich eingerichtet, daß wir dann am meisten Mondschein haben, wenn wir dessen am meisten bedürfen, nämlich im Winter.

Da der Mond, wie die Sonne, eine doppelte Bewegung hat und diese gleichzeitig stattfindet, so muß die Summe aller Tagkreise des Mondes ebenfalls eine schraubenförmige Linie werden; doch liegen, wegen der beträchtlicheren Größe der west-östlichen Bewegung des Mondes, die einzelnen Windungen dieser Linie beträchtlich weiter von einander entfernt als bei der Sonne.

5. **Der siderische und synodische Monat.** Während der Mond einen Umlauf am Himmel vollendet, verbleibt die Sonne nicht an ihrer Stelle, sondern sie schreitet täglich etwa 1^0 in der Ekliptik vor. Es findet darum der Mond, wenn er als Neumond zur Sonne zurückkehren will, die Sonne nicht mehr bei denselben Fixsternen, sondern fast ein Zeichen weiter nach O. Darum muß der Mond früher zu demselben Fixsterne als zur Sonne zurückkehren. Ist er zu demselben Fixsterne zurückgekehrt, so hat er gerade 360^0 durchlaufen, und hierzu gebraucht er stets 27 Tg. 7 Std., welche Zeit man den siderischen Monat nennt. Täglich schreitet er demnach etwa $13^0,2$ in seiner Bahn gegen einen Fixstern vor, so daß also seine monatliche Bewegung über 13mal so schnell erfolgt, als die jährliche der Sonne. Von dieser entfernt er sich täglich etwa $12^0,2$. Die Mondphasen hangen aber nicht von seiner Stellung zu den Fixsternen, sondern von der zur Sonne ab. Um diese wieder zu erreichen, sind noch 2 Tg. 5 Std., überhaupt also 29 Tg. 12 St. erforderlich. Man nennt diese Zeit den synodischen Monat, weil nach derselben der Mond wieder seine Zusammenkunft (Synode) mit der Sonne hält. Aber dieselbe Zeit vergeht natürlich auch zwischen 2 auf einander folgenden ersten und letzten Vierteln,

sowie zwischen je 2 auf einander folgenden Vollmonden. Während des synodischen Monats durchläuft der Mond fast 13 Zeichen oder nahe 390°.

6. **Erklärung der täglichen Verspätung des Mondes.** Die beträchtliche tägliche Entfernung des Mondes von der Sonne ist die Ursache, warum die Culmination, sowie der Auf- und Untergang des Mondes sich so bedeutend von Tag zu Tage verspäten. Fiele die Bahn des Mondes mit dem Aequator zusammen, so wäre es ein Leichtes, die Verspätung für jeden Tag zu finden; man hätte ja für jeden Grad Entfernung von der Sonne nur etwa 4 Min. Zeit zu berechnen, und die gefundene Zeit wäre die der Verspätung der Culmination, des Auf- und Unterganges. Die Bahn des Mondes weicht aber von dem Aequator ab, und darum ist die tägliche Verspätung des Mondes für die 3 genannten Größen ungleich. Am gleichmäßigsten ist dieselbe für die Culmination; aber gleich ist sie aus zwei Gründen nicht, einmal, weil der Mond, wie wir später genauer sehen werden, mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit seine Bahn durchläuft, wovon wir hier noch ganz absehen wollen, sodann, weil die Mondbahn von dem Meridian nicht immer unter demselben Winkel durchschnitten wird. In den Solstitialpunkten macht der Meridian mit der Bahn einen rechten Winkel; in den Aequinoctialpunkten weicht dieser Winkel etwa um die Schiefe der Ekliptik von einem rechten Winkel ab. Es entsprechen darum gleichen Bogen der Bahn nicht auch gleiche Bogen des Aequators, und da durch diese die Zeit gemessen wird, nicht auch gleichen Zeiten. Bei gleichmäßig gedachtem Fortschreiten des Mondes in der Bahn ist die Verspätung in Beziehung auf den Meridian am größten, wenn er in der Nähe der Solstitialpunkte, am kleinsten, wenn er nahe den Aequinoctialpunkten sich befindet. Für die Verspätung des Auf- und Unterganges treten indessen andere Verhältnisse ein, weil hier der sehr veränderliche Winkel der Mondbahn mit dem Horizonte in betracht kommt. Es werden hierbei in Lehrbüchern nicht selten von der Wahrheit sehr abweichende Angaben gemacht. Fassen wir hier zuerst einige große Verhältnisse in das Auge! So liest man z. B. nicht selten, als erstes Viertel gehe der Mond etwa 6 Stunden nach der Sonne auf und unter. Dies trifft indessen durchaus nicht zu; es kommt nämlich immer darauf an, in welchem Theile der Bahn der Mond steht. Richtig ist die obige Angabe der Verspätung nur in Beziehung auf die C u l m i n a t i o n des Mondes; er geht als erstes Viertel etwa 6 Stunden nach der Sonne durch den Meridian. Wäre e r s t e s V i e r t e l gerade am A n f a n g e d e r 4 J a h r e s z e i t e n eingetreten, so zeigt folgende Zusammenstellung, wie viel Zeit der Mond nach der Sonne auf- und untergeht; doch sind auch hierbei nur ungefähre Angaben gemacht worden, da noch nicht alle bei der Sache in betracht kommenden Verhältnisse berücksichtigt worden sind, die später angedeutet werden sollen. Am

21. März	☉*) in ♈,	☾ in ♋;	der ☾ geht nach der ☉	auf	$3\frac{3}{4}$ Std.,	unter	$8\frac{1}{4}$ Std.
21. Juni	☉ „ ♋,	☾ - ♎;	- ☾ - - - ☉	-	$8\frac{1}{4}$ -	-	$3\frac{3}{4}$ -
23. Septbr.	☉ - ♎,	☾ - ♑;	- ☾ - - - ☉	-	$8\frac{1}{4}$ -	-	$3\frac{3}{4}$ -
21. Decbr.	☉ - ♑,	☾ - ♈;	- ☾ - - - ☉	-	$3\frac{3}{4}$ -	-	$8\frac{1}{4}$ -

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die Summe der Zeiten, welche der Mond als erstes Viertel nach der Sonne auf- und untergeht, stets 12 Stunden beträgt. Steht er n ö r d l i c h e r als die Sonne, so geht er w e n i g e r als 6 Stunden nach der Sonne auf und m e h r als 6 Stunden nach ihr unter; steht er dagegen südlicher als die Sonne, so tritt das Entgegengesetzte ein. Es entsprechen zwar 90° des Aequators, nicht aber 90° der schief gegen den Aequator und den Horizont liegenden Mondbahn 6 Stunden. Uebrigens wird man in den obigen Zeiten der Verspätung des Mondes eine merkwürdige Uebereinstimmung mit den Zeiten des Auf- und Unterganges der Sonne am längsten und kürzesten Tage erkennen.

Sehr beträchtlich ist der Unterschied, welcher sich in der t ä g l i c h e n Verspätung des Auf- und Unterganges des Mondes herausstellt. Es kann derselbe von einigen bis auf mehr denn 100 Minuten gehen; ja für manche Oerter der Erde kann der Mond trotz seines beträchtlichen Fortschreitens in seiner Bahn am folgenden Tage sogar f r ü h e r aufgehen als am Tage zuvor. Es kommt hierbei nämlich der Winkel, den die Mondbahn mit dem Horizonte macht, in betracht.

*) ☉ ist das übliche Zeichen für die Sonne, ☾ für den Mond.

Da die Mondbahn den Aequator durchschneidet, so liegen die Tagkreise des Mondes bald nördlich, bald südlich vom Aequator. Je weiter südlich, desto später geht der Mond auf und desto früher unter, je weiter nördlich, desto früher erfolgt der Auf- und desto später der Untergang. Darum ist es für die tägliche Verspätung des Mondes entscheidend, ob er in seiner Bahn sich nach Norden oder nach Süden wendet, ob er hinauf- oder herabsteigt. Im ersteren Falle wird sein Aufgang verfrüht und sein Untergang verspätet; er geht dann weniger als 50 Min. später auf und mehr als 50 Min. später unter. Im letzteren Falle tritt das Entgegengesetzte ein: der Aufgang wird verspätet und der Untergang verfrüht. Am größten sind die Zeitunterschiede, wenn der Mond in der Nähe der Aequinoctialpunkte steht, da alsdann die Lage der Tagkreise zum Aequator sich am schnellsten ändert (S. 38). Aus dem Gesagten wird nun klar sein, warum der Mond am 22. März 1856 (S. 44) etwa 70 Min. später auf- und kaum 10 Min. später unterging: er stand in der Nähe des Herbstpunktes und war im begriff, in den südlichen Theil seiner Bahn einzutreten.

7. **Abweichung der Mondbahn von der Ekliptik.** Wer den Mondlauf genau verfolgt, wird noch mancherlei Abweichungen von dem Bisherigen wahrnehmen; denn unsere bisherigen Annahmen stimmen mit der Wirklichkeit nicht genau zusammen, weichen sogar nicht ganz unbedeutend von der Wahrheit ab.

Die Mondbahn fällt nämlich nicht genau mit der Ekliptik zusammen, sondern sie weicht non ihr um den nicht unbeträchtlichen Winkel von 5°,1 ab. Sie durchschneidet darum die Ekliptik in zwei einander gegenüberliegenden Punkten, welche man die Knoten der Mondbahn nennt. Ihre Verbindungslinie oder die gerade Linie, in welcher die Ebene der Mondbahn die Ebene der Ekliptik schneidet, wird die Knotenlinie genannt. Die Knoten unterscheidet man wieder als auf- und absteigende Knoten (☊ und ☋), die auch wohl Drachenkopf und Drachenschwanz genannt werden. Ersterer ist derjenige, durch welchen der Mond in den nördlichen, letzterer der, durch welchen er in den südlichen Theil seiner Bahn übergeht. Als zwei größte Kreise halbiren sich Mondbahn und Ekliptik. Die Knoten sind für die Mondbahn das, was die Aequinoctialpunkte für die Ekliptik sind; den Solstitialpunkten dieser aber entsprechen die beiden Punkte, welche je 90° von den beiden Knoten entfernt sind. Der nördlichste Punkt der Mondbahn liegt 5°,1 nördlich, der südlichste 5°,1 südlich von der Ekliptik. Hieraus folgt, daß der Mond nicht unbeträchtlich über die Wendekreise hinausgehen und eine bedeutendere Höhe über dem Horizonte erreichen kann, als die Sonne. Es hängt aber hierbei alles von der Lage der Mondknoten ab. Diese sind nicht feste Punkte, sondern sie bewegen sich ziemlich rasch von O. nach W. oder gegen die Reihenfolge der Zeichen in der Ekliptik herum; in ungefähr 19 Jahren haben sie einen ganzen Umlauf vollendet, nach welcher Zeit die früheren Verhältnisse sich wiederholen. Die jährliche Aenderung der Knoten beträgt, wie aus obiger Angabe hervorgeht, etwa 19°, die monatliche mithin etwas über $1\frac{1}{2}$°. Der Mond findet also nach einem Umlaufe seine Knoten nicht mehr an derselben Stelle, sondern sie rücken ihm in Monatsfrist etwa $1\frac{1}{2}$° entgegen. Er hat also, um zu demselben Knoten zurückzukehren, nicht volle 360° zu durchlaufen, und gebraucht dazu 27 Tg. 5 Std. 5 Min. 36 Sek., welche Zeit man auch wohl den drakonitischen Monat oder den Drachenmonat nennt.

8. **Die 4 Hauptlagen der Mondbahn.** Um uns klar zu machen, wie durch die Abweichung der Mondbahn von der Ekliptik der scheinbare Mondlauf verändert wird, wollen wir uns 4 Hauptlagen derselben vorführen.

1) Angenommen, der aufsteigende Knoten des Mondes falle mit dem Frühlingspunkte, der absteigende also mit dem Herbstpunkte zusammen, so liegt der nördliche Theil der Mondbahn nördlich vom nördlichen, und der südliche Theil derselben südlich vom südlichen Theile der Ekliptik; die Mondbahn macht in diesem Falle mit dem Aequator einen Winkel von $23^1/_2{}^0 + 5^0{,}1 = 28^0{,}6$.

In den Knoten stehend, würde der Mond nun als Tagkreis den Aequator beschreiben, und also im Meridian eine Höhe von $37^1/_2{}^0$ erreichen. Stände er hingegen im nördlichsten Punkte der Bahn, so ginge sein Tagkreis $5^0{,}1$ über den nördlichen Wendekreis hinaus, und er müßte in dem Meridian eine Höhe von $61^0 + 5^0{,}1 = 66^0{,}1$ erreichen. Daß er dann länger als die Sonne am längsten Tage über dem Horizonte verweilen, seine Morgen- und Abendweite größer als die der Sonne sein muß, versteht sich nach dem Früheren von selbst. Im südlichsten Punkte der Bahn stehend, müßte der Mond einen Tagkreis beschreiben, der $5^0{,}1$ südlich vom südlichen Wendekreise liegt; er würde also nur eine Höhe von $14^0 - 5^0{,}1 = 8^0{,}9$ erreichen und kürzere Zeit als die Sonne am kürzesten Tage über dem Horizonte verweilen. Diese Lage hat die Mondbahn etwa um die Mitte 1857 gehabt.

Am 21. März 1856, für welche Zeit wir den Lauf des Mondes beschrieben haben, liegt der aufsteigende Knoten gegen Ende des Widders und der absteigende Knoten gegen Ende der Wage, und der Mond passirte ersteren als Neumond am 5. April (Sonnenfinsternis), letzteren am 19. April (Mondfinsternis am 20.). Der Vollmond am 21. März stand also noch im nördlichen Theile der Bahn, und sein Tagkreis konnte nicht genau der Aequator sein. In den Vierteln ging der Tagkreis über die Wendekreise (über 5^0) hinaus; doch erreichte der Mond dabei nicht die möglich größte und kleinste Höhe.

2) Fiele der aufsteigende Knoten mit dem Winter-Solstitialpunkte, der absteigende also mit dem Sommer-Solstitialpunkte zusammen, so würde der Mond in den Knoten die Wendekreise durchlaufen, und alle seine Tagkreise würden innerhalb dieser Kreise liegen. Im nördlichsten und südlichsten Punkte der Bahn würde er aber nicht den Aequator beschreiben, weil diese Punkte $5^0{,}1$ nördlich und südlich von den Aequinoctialpunkten lägen.

3) Wenn der aufsteigende Knoten mit dem Herbstpunkte, der absteigende also mit dem Frühlingspunkte zusammenfiele, so läge die ganze Mondbahn innerhalb der Wendekreise. Der nördlichste Punkt derselben läge $5^0{,}1$ nördlich vom Winter-Solstitialpunkte, also nur $23^0{,}5 - 5^0{,}1 = 18^0{,}4$ südlich vom Aequator; der südlichste Punkt hingegen $5^0{,}1$ südlich vom Sommer-Solstitialpunkte, also $18^0{,}4$ nördlich vom Aequator. Alle Tagkreise des Mondes müßten nun innerhalb der beiden Wendekreise liegen, ohne diese zu erreichen; die größte Höhe des Mondes könnte nur $61^0 - 5^0{,}1 = 55^0{,}9$ betragen, seine kleinste hingegen müßte $14^0 + 5^0{,}1 = 19^0{,}1$ sein. Beim ersteren Stande müßte er kürzere Zeit als die Sonne am 21. Juni, beim leszteren Stande länger als die Sonne am 21. Decbr. über dem Horizonte verweilen.

4) Fiele endlich der aufsteigende Knoten mit dem Sommer-Solstitialpunkte, der absteigende mit dem Winter-Solstitialpunkte zusammen, so müßten ähnliche Verhältnisse wie unter 2 eintreten. In den Knoten durchliefe der Mond die Wendekreise, im nördlichsten und südlichsten Punkte aber nicht den Aequator.

Aus den angeführten und besprochenen Hauptlagen der Mondbahn wird man sich die übrigen Zwischenlagen ableiten können. Jedenfalls aber ist der Mondlauf ein sehr verwickelter. Das geschriebene Wort ist kaum hinreichend, alles deutlich zu machen, und wenn irgendwo, so ist hier Veranschaulichung nothwendig. Diese vermag der Himmelsglobus zu geben, wenn man die Mondbahn vielleicht durch einen schmalen Papier- oder Pappstreifen darstellt und so um die Kugel legt, daß er $5^0{,}1$ von der Ekliptik abweicht. Durch entsprechende Verschiebung des Ringes werden sich die wichtigsten Lagen der Mondbahn und die dadurch bedingte veränderliche Lage der Tagkreise des Mondes veranschaulichen lassen. Bessere Dienste dürfte die von mir construirte, S. 43 erwähnte Armillarsphäre thun.

Drittes Kapitel.

Von den Sternen.

Ein erhabenes Schauspiel gewährt die Betrachtung des gestirnten Himmels in einer hellen Herbst- oder Winternacht. Durch sie wird der Blick und das Gemüth des sinnigen Beschauers von der kleinen Erde zu neuen, in dem weiten Weltenraume schwebenden Welten emporgehoben, die in erhabener Weise des Schöpfers Ruhm verkündigen. Die Ahnung des Unendlichen, der Friede, welcher über den ganzen Himmel ausgegossen ist, die Gesetzmäßigkeit, mit der die unzähligen, zum Theil räthselhaften Wesen ihre gemessenen Bahnen wandeln, üben einen magischen Reiz auf jeden gefühlvollen Menschen aus, so daß er immer wieder von neuem mit Vergnügen den Blick zum gestirnten Himmel emporhebt. Und selbst auf ungebildete Völker bleibt der Anblick des Himmels und seiner Wunder nicht ohne einen tiefen Eindruck; er hat, wie nachzuweisen ist, ihre Phantasie in der verschiedensten Weise angeregt.

Arten der Sterne. Unzählig erscheint die Zahl der den Himmel zierenden Sterne, und vergebens bemüht sich das Auge, in die ungleich vertheilten Heere Ordnung zu bringen. Dennoch ist es dem Scharfsinne des Menschen gelungen, sich an dem Himmel heimisch zu machen und eine Uebersicht über die Sterne zu gewinnen.

Eine aufmerksame Betrachtung des gestirnten Himmels läßt an den einzelnen Sternen mancherlei Verschiedenheiten, z. B. in Beziehung auf ihre scheinbare Größe, Farbe u. s. w. erkennen; eine fortgesetzte Beobachtung aber hat zu der Ueberzeugung geführt, daß nicht lauter Körper von gleichem Bau und gleichen Eigenschaften am Himmel leuchten. Besonders sind es 3 Arten von Sternen, nämlich 1) Fixsterne, 2) Planeten, 3) Kometen, die man anzunehmen pflegt, und bei einiger Uebung ist man im stande, selbst mit unbewaffneten Augen mit größerer oder geringerer Sicherheit dieselben von einander zu unterscheiden. Mit dieser Eintheilung ist indessen keine vollständige und erschöpfende Eintheilung aller Gebilde des Weltalls gegeben worden. Auf Vollständigkeit kann es an diesem Orte nicht ankommen; Genaueres über den Gegenstand wird die dritte Abtheilung des Buches bringen.

I. Von den Fixsternen.

1. **Eigenschaften derselben.** Der Name Fixstern ist ein dem Alterthume entlehnter und heißt bekanntlich soviel, als feststehender Stern. Die Alten stellten sich nämlich den Himmel als ein krystallenes Gewölbe vor, dem die Sterne eingeheftet seien, und nannten sie deshalb *sidera infixa coelo*, d. h. dem Himmel eingeheftete Sterne, woraus jener obige Name entstanden ist. Zu dieser Vorstellung kamen sie durch den Umstand, daß die Fixsterne,

obgleich sie sich täglich von O. nach W. um die Erde herumzuschwingen scheinen, immer dieselbe Stellung zu einander beibehalten, wie wenn sie an bestimmten Punkten des Himmels befestigt wären und mit diesem täglich von O. nach W. herumgeführt würden. Die ihre Stellung zu den anderen Sternen ändernde Sonne rechnete man darum nicht zu den Fixsternen.

Obgleich wir wissen, daß kein Stern am Himmel absolut feststeht, so ist doch heute noch der Name Fixstern für alle diejenigen Sterne im Gebrauch, die ihre Stellung zu andern Sternen nicht zu ändern scheinen, und an denen ohne feine Meßinstrumente während der Dauer eines Menschenlebens eine Ortsveränderung nicht wahrzunehmen ist. Außer dieser Eigenschaft des scheinbaren Feststehens zeigen sehr viele Fixsterne einen fortwährenden Wechsel ihres Lichtes, der unter dem Namen des Funkelns oder Scintillirens (*scintilla*, der Funke) der Sterne bekannt ist. Es wird hierdurch der Reiz des gestirnten Himmels bedeutend erhöht. Man glaubt in jedem Augenblicke neue Sterne aufglimmen zu sehen, und hierdurch mag es kommen, daß man mehr Sterne zu sehen glaubt, als man wirklich sieht. Indessen ist das Funkeln nicht allen Fixsternen eigen und, wenn auch bei der Mehrzahl derselben vorhanden, keine ausschließliche Eigenschaft derselben.

Eine dritte Eigenschaft der Fixsterne, die man freilich nicht unmittelbar wahrnehmen kann, aber als die wichtigste und wesentlichste erscheint, ist die des Selbstleuchtens: sie strahlen in eigenem Lichte.

Diesen 3 Haupteigenschaften der Fixsterne ließe sich als eine vierte noch hinzufügen, daß sie in Fernröhren sich fast nie als Scheiben darstellen lassen, sich also keiner Vergrößerung fähig zeigen, sondern daß sie vielmehr um so vollkommener als leuchtende Punkte erscheinen, je besser das Fernrohr ist. Die 4 Haupteigenschaften der Fixsterne sind demnach: 1) scheinbare Unbeweglichkeit, 2) das Funkeln, 3) das Selbstleuchten, 4) Unfähigkeit zur Vergrößerung.

2. **Scheinbare Größe der Fixsterne.** Die Fixsterne zeigen eine verschiedene scheinbare Größe, und man theilt sie hiernach in verschiedene Klassen, in Sterne 1., 2., 3. u. s. w. Größe. Mit bloßen Augen sind nur Sterne von der 1. bis zur 6. und 7. Größe sichtbar; für die meisten Menschen hört indessen die Möglichkeit der Sichtbarkeit schon mit der 6. Größe auf.

3. **Zahl derselben.** Die Zahl der mit bloßen Augen sichtbaren Sterne beträgt (nach *Humboldt*) für Berlin etwa 4022 (nach *Argelander* 3300), für den ganzen Himmel überhaupt zwischen 5 und 6000. Alle nur mit optischen Instrumenten sichtbaren Sterne werden telescopische Sterne genannt. Sterne 1. Größe sind diejenigen, welche am frühesten nach Sonnenuntergang sichtbar werden, und also auch am längsten, bis kurz vor Sonnenaufgang, sichtbar bleiben. *Mädler* zählt 18 Sterne 1. Größe, die sämtlich besondere Namen haben, welche später mitgetheilt werden sollen.

Man zählt Sterne	1ster	2ter	3ter	4ter	5ter	6ter	Größe
	18	65	190	425	1100	3200.	

Aus der Vergleichung der Zahlen ergiebt sich, daß jede folgende geringere Klasse etwa die dreifache Anzahl der vorhergehenden höheren Klasse zählt.

4. **Die Milchstraße.** Die Fixsterne sind sehr ungleich am Himmel vertheilt; merkwürdig aber ist, daß die meisten hellen Sterne in der Nähe eines matt leuchtenden Gürtels stehen, der fast in der Richtung eines größten Kreises die ganze Himmelskugel umzieht, und unter dem Namen der Milchstraße allgemein bekannt ist. Sie ist eine eigenthümliche Zierde des Himmels und nichts als der ineinanderfließende Schein unzähliger Sterne. Sie erscheint nicht überall von gleicher Breite und Helligkeit und zeigt sich an manchen später näher zu bezeichnenden Stellen sogar in zwei Theile gespalten. Sie nimmt ebenfalls an der täglichen Bewegung des Himmels theil und macht dabei mit dem Horizonte die verschiedensten Winkel.

5. **Nebelflecke, Nebelsterne, Sternhaufen.** In heiteren Nächten bemerkt man schon mit bloßen Augen Stellen am Himmel, die sich durch ein weißliches Licht von dem grau-blauen nächtlichen Himmel abheben; man nennt solche in nebelartigem Lichte erscheinenden Gebilde Nebelflecke. Die Zahl derselben ist außerordentlich groß; denn man kennt, die nur in Fernröhren sichtbaren hinzugerechnet, gegenwärtig gegen 4000 derselben. Zuweilen sieht man auch wohl einen Fixstern mit einer Nebelhülle umgeben und nennt dann einen solchen Stern einen Nebelstern. Sterngruppen hingegen, in denen viele Sterne mehr oder weniger gedrängt beieinander stehen, pflegt man Sternhaufen zu nennen.

II. Von den Planeten.

1. **Eigenschaften derselben.** Außer den Fixsternen giebt es noch Sterne am Himmel, die sich von jenen zunächst dadurch unterscheiden, daß sie ihre Stellung zu den übrigen Sternen oft sehr merklich und in verschiedenen Richtungen ändern. Sie zogen dadurch schon die Aufmerksamkeit der Alten auf sich und regten ihr Nachdenken in hohem Grade an. Da sie die Gesetzmäßigkeit in den verwickelten scheinbaren Bewegungen dieser Himmelskörper nicht zu erkennen vermochten, der sie indes, wie alle Sterne, unterworfen sind, so nannten sie dieselben Irr- oder Wandelsterne oder Planeten. Dieser Name ist bis auf den heutigen Tag beibehalten worden; doch sind die Gesetze der Bewegungen dieser Körper jetzt vollständig bekannt und über das Wesen derselben ziemlich gründliche Ansichten verbreitet. Daß von den Alten auch die Sonne wegen ihrer Ortsveränderung in Beziehung auf die Fixsterne zu den Planeten gerechnet wurde, ist schon angedeutet worden. Sie ist indessen ein Fixstern, da sie die Haupteigenschaft derselben, selbst zu leuchten, besitzt.

Diese Eigenschaft fehlt den Planeten. Sie prangen in einem von der Sonne erborgten Lichte; doch sind manche von ihnen wahre Zierden des

Himmels, da sie selbst die hellsten Fixsterne überstrahlen. Wer kennt nicht den herrlichen Morgen- und Abendstern, die Venus, die es selbst im Funkeln den Fixsternen zuvorthun will. Auch der in gelblichem Lichte glänzende Jupiter, der bleichere Saturn und der röthliche Mars ziehen die Aufmerksamkeit auf sich; doch zeigen diese letzteren nie ein Funkeln, das überhaupt nur sehr wenigen Planeten eigen ist. Die meisten erglänzen in einem ruhigen Lichte und verrathen sich dadurch schon einem geübten Auge als Planeten. Sehr verschieden von den Fixsternen zeigen sie sich im Fernrohre; denn während jene als leuchtende Punkte erscheinen, stellen sich diese, wenigstens in guten Fernröhren, als größere oder kleinere glänzende Scheiben dar, und bei manchen ist man selbst im stande, Eigenthümlichkeiten ihrer Oberfläche zu erkennen.

Als Haupteigenschaften der Planeten lassen sich nach dem Gesagten also folgende nennen: 1) scheinbar unregelmäßige Bewegung in Beziehung auf die Fixsterne, 2) Mangel des eigenen Lichtes, 3) Seltenheit oder gänzlicher Mangel des Funkelns, 4) Scheibenform im Fernrohre.

2. **Haupt- und Nebenplaneten.** Bei mehreren der Planeten erblickt man im Fernrohre kleine Sternchen, die den Planeten in längerer oder kürzerer Zeit umkreisen; man nennt diese Körper Nebenplaneten, Monde oder Trabanten, und nennt im Gegensatze dazu die Planeten, um welche sie sich bewegen, Hauptplaneten. Unsere Erde ist ein solcher, und der sie umkreisende Mond ein Nebenplanet. Gegenwärtig kennt man 116 Hauptplaneten, die von 20 Nebenplaneten umkreist werden. Es werden dieselben später näher aufgeführt und besprochen werden. Auf Himmelsgloben und Sternkarten findet man die Planeten nicht mit verzeichnet, da sie täglich ihre Stellung zu den Fixsternen mehr oder weniger ändern. Sie bringen durch ihr Erscheinen oder Verschwinden einen schönen Wechsel in die erhabene Gleichmäßigkeit des Himmels. Aus dem Kalender kann man stets erfahren, welche Planeten in den einzelnen Monaten des Jahres den Himmel zieren.

III Von den Kometen.

Seltsame Himmelskörper, die, wahrscheinlich wegen ihrer eigenthümlichen Form und wegen ihres plötzlichen, unerwarteten Erscheinens, lange Zeit hindurch der Schrecken der Menschen gewesen sind, und auch wohl heute noch von manchem mit einigem Mißtrauen angesehen werden mögen, sind die Kometen. Sie besuchen als seltene Gäste (wenn man die nur telescopischen ausschließt) unsern Sternenhimmel, um ziemlich plötzlich wieder zu verschwinden, nachdem sie einige Zeit hindurch sichtbar gewesen sind.

Eigenschaften und Theile der Kometen. Das Auffallendste, was viele auf den ersten Blick als eine besondere Gattung von Himmelskörpern

kenntlich macht, ist die eigenthümliche Gestalt, in der sie sich dem Auge darstellen. Besonders auffallend ist eine von ihnen ausgehende schweifartige Verlängerung des Lichtes, weshalb man sie auch Schweif- oder Schwanzsterne nennt. Gewöhnlich unterscheidet man 3 Haupttheile an einem Kometen, nämlich 1) den Kern, 2) die Nebel- oder Dunsthülle, 3) den Schweif.

Der Kern des Kometen stellt sich gewöhnlich als eine mehr oder weniger scharf begrenzte Scheibe dar, die sich vor den übrigen Theilen durch ein helleres Licht auszeichnet, dessen Intensität indessen dem der Planeten gewöhnlich bedeutend nachsteht. Der wesentlichste Bestandtheil eines Kometen scheint jedoch die Nebelhülle zu sein, da keiner ohne dieselbe, wohl aber mancher ohne Kern und Schweif gefunden worden ist. Sie erscheint als eine kugelförmige, in nebelartigem Lichte den Kern einhüllende Dunstmasse. Nicht selten ist zwischen ihr und dem Kerne ein dunkler Zwischenraum, und gewöhnlich ist sie nicht ganz zu einer Dunstkugel geschlossen, sondern nach der Seite des Schweifes hin geöffnet, um gleich zu dem Schweife überzugehen. Dieser hat verschiedene Länge und Gestalt, erscheint aber am häufigsten als eine gabelförmig gestaltete Verlängerung der Dunsthülle des Kometen. In den meisten Fällen ist er der Sonne abgekehrt und scheint mit dieser in einem gewissen, jedoch noch nicht genau erforschten Zusammenhange zu stehen. Es giebt indessen auch Kometen ohne Schweif, während andere zwei, ja drei derselben zeigten.

Fig. 17.



Die nebenstehende *Fig. 17* zeigt den Kometen von 1811, wie er am 15. Octbr. erschien. Es bezeichnet darin *a* den Kern, *b* die Nebelhülle und *c* die Verlängerung derselben, den Schweif. Merkwürdig ist es, daß man durch Nebelhülle und Schweif eines Kometen größere Fixsterne ohne merkliche Schwächung des Lichtes hindurchleuchten sieht, was auf eine sehr geringe Dichtigkeit des Kometenstoffes hinweiset.

Was das Licht der Kometen betrifft, so scheint es ein von der Sonne erborgtes zu sein, wie bei den Planeten, und mit diesen haben sie auch das gemein, daß sie ihre Stellung zu den Fixsternen sehr merklich ändern. An der täglichen Bewegung des Himmels nehmen sie ebenfalls theil. Die Zahl der Kometen scheint, wenn man die telescopischen hinzurechnet, sehr bedeutend zu sein; man schätzt sie auf viele Tausende.

IV. Von der scheinbaren Bewegung der Sterne.

In Beziehung auf die Bewegung der Sterne zum Horizonte wissen wir bereits, daß sie alle an dem täglichen Umschwunge des Himmels theilnehmen und Kreise beschreiben, die unter einander parallel laufen. Beachtet man aber diese Bewegung genauer, so findet man an den 3 oben besprochenen Arten von Sternen mancherlei Verschiedenheiten, namentlich in Beziehung auf die Zeit, in welcher sie einen Tagkreis vollenden. Sehr ungleich ist diese Zeit für die Sonne, die Planeten und Kometen; anders ist es für die Fixsterne.

1. **Gleichmäßige Bewegung der Fixsterne.** Alle Fixsterne bewegen sich mit vollkommen gleichmäßiger Geschwindigket, d. h. sie legen in gleichen auf einander folgenden Zeittheilen gleiche Wege zurück. Und bereits seit Jahrtausenden umkreisen sie in dieser Weise scheinbar die Erde; denn durch Vergleichung der jetzigen Umlaufszeiten der Planeten mit denen früherer Jahrtausende läßt sich mit Sicherheit nachweisen, daß die Zeit von einer Culmination eines Fixsternes bis zur nächstfolgenden gleichnamigen sich weder um $^1/_{100}$ einer Zeitsekunde vergrößert noch verkleinert hat. Diese beispiellose Gleichmäßigkeit der Bewegung macht die Fixsterne zu einem vortrefflichen Mittel, die Zeit zu messen, da die Haupteigenschaft eines jeden Maßes die Gleichmäßigkeit ist.

2. **Sternzeit.** Die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Culminationen eines Fixsternes nennt man einen Sterntag und theilt ihn, wie den Sonnentag, in 24 gleiche Theile, Stunden (h) genannt, deren jede wieder in 60 Minuten (′) und jede dieser in 60 Sekunden (″) zerfällt. Alle Sterntage sind von gleicher Länge. Während eines Sterntages legt jeder Fixstern genau 360° zurück, oder es gehen 360° des Aequators oder eines Parallelkreises durch den Meridian.

3. **Verwandlung der Bogen in Zeit.** Hiernach ist es nicht schwer, Bogen in Zeit und umgekehrt Zeit in Bogen zu verwandeln, eine Aufgabe, die von Astronomen sehr oft gelöst werden muß.

Es sind nämlich 360°	=	24^h	=	1440^m	=	86400^s	Sternzeit.	
mithin 180	=	12	=	720	=	43200	„	
90	=	6	=	360	=	21600	„	
15	=	1	=	60	=	3600	„	
1	=	$^1/_{15}$	=	4	=	240	„	
$^1/_4$	=	$^1/_{60}$	=	1	=	60	„	
1′	=	$^1/_{900}$	=	$^1/_{15}$	=	4	„	
1″	=	$^1/_{54000}$	=	$^1/_{900}$	=	$^1/_{15}$	„	

Da 15° nach dem Obigen = 1 Std. sind, so hat man einen Winkel von 15°, gemessen im Aequator oder einem andern Parallelkreise, einen Stundenwinkel genannt. Einige Aufgaben werden die Art der Berechnung deutlich machen.

$$\begin{array}{llll}
\text{Aufgabe} & 77^0 & = ? & \text{Zeit.} \\
\text{Lösung} & 75 & = & 5^h \\
 & 2 & = - & 8^m \\
\hline
 & 77^0 & = & 5^h\ 8^m
\end{array}
\qquad
\begin{array}{llll}
\text{Aufgabe} & 100^0 & = ? & \text{Zeit.} \\
\text{Lösung} & 90 & = & 6^h \\
 & 10 & = - & 40^m \\
\hline
 & 100^0 & = & 6^h\ 40^m
\end{array}$$

$$\begin{array}{llllll}
\text{Aufgabe} & 267^0 & 43' & = & ? & \text{Zeit.} \\
\text{Lösung} & 255 & - & = & 17^h & \\
 & 12 & - & = & - & 48^m \\
 & - & 30' & = & - & 2 \\
 & - & 13 & = & - & -\ 52^s \\
\hline
 & 267^0 & 43' & = & 17^h & 50^m\ 52^s \text{ u. s. w.}
\end{array}$$

Man kann sich die Rechnung aber wesentlich verkürzen, indem man den Ausdruck für den Bogen einfach mit 15 dividirt, dem Quotienten aus den Graden die Benennung Stunden, dem aus den Bogenminuten die der Minuten, und dem aus den Bogensekunden die der Sekunden giebt.

4. **Verwandlung der Zeit in Bogen.**

$$\begin{array}{lllll}
\text{Aufgabe} & 11^h\ 12^m & = & ? \text{ Bogen.} & \\
\text{Lösung} & 11^h & = & 11 \times 15^0 = & 165^0 \\
 & -\ 12^m & = & 12 \times {}^1/_4{}^0 = & 3^0 \\
\hline
 & 11^h\ 12^m & = & & 168^0
\end{array}$$

$$\begin{array}{lllll}
\text{Aufgabe} & 17^h\ 22^m & = & ? \text{ Bogen.} & \\
\text{Lösung} & 17^h & = & 17 \times 15^0 = & 255^0 \\
 & -\ 22^m & = & 22 \times {}^1/_4{}^0 = & 5^0\ 30' \\
\hline
 & 17^h\ 22^m & = & & 260^0\ 30'
\end{array}$$

Auch hier gelangt man schneller zum Ziele, wenn man einfach den Zeitausdruck mit 15 multiplicirt und dem Produkte aus den Sekunden, Minuten, Stunden, die Benennung von resp. (Bogen-) Sek., Min. und Graden giebt.

Für einen Stern ist es also einerlei, ob man von ihm angiebt, wie viel Grade, Minuten u. s. w. er von dem Meridian entfernt, oder wie viel Zeit nach seiner Culmination verflossen ist.

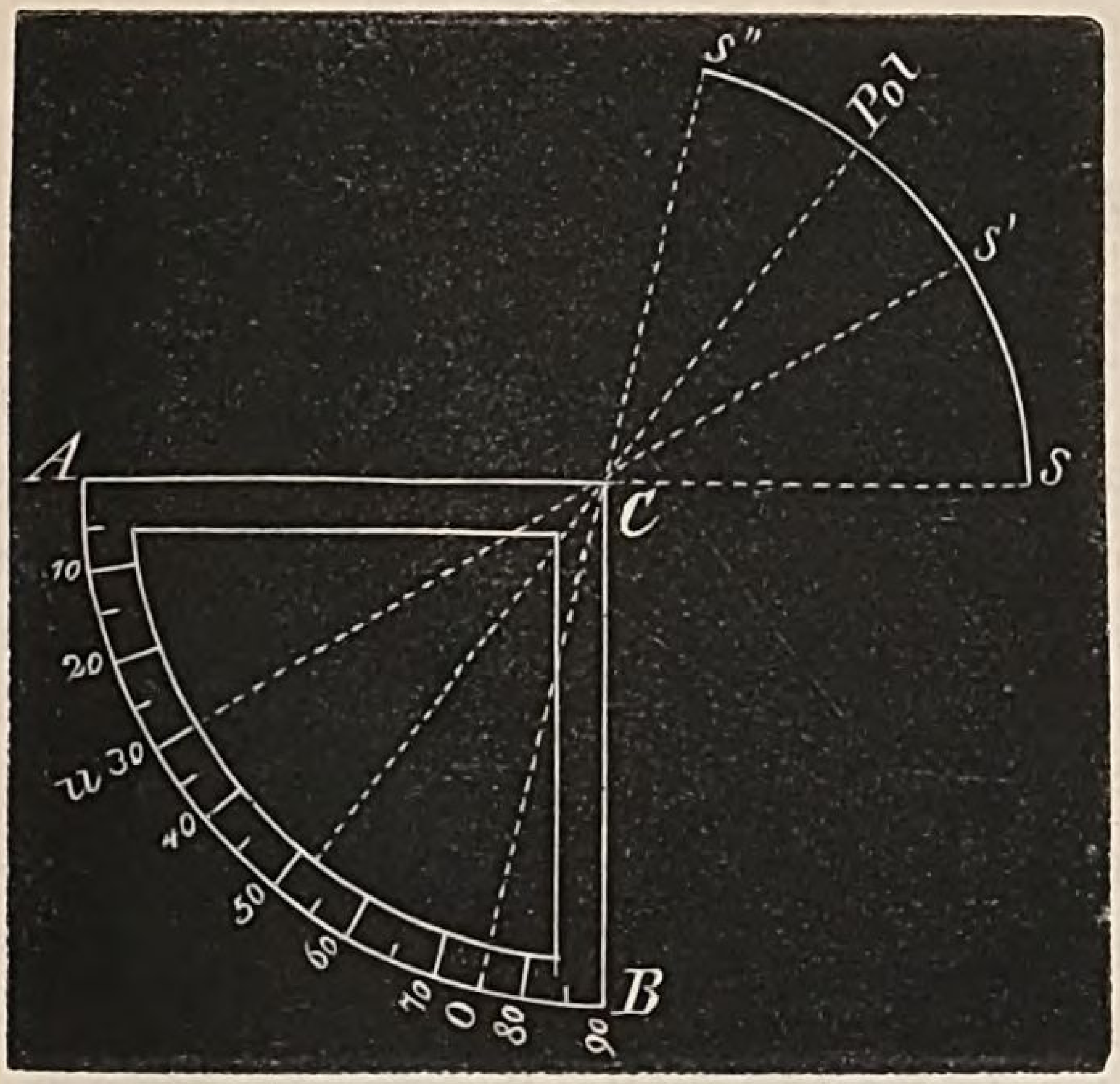
5. **Art der Bestimmung der Polhöhe.** Auf S. 9 ist bereits der Circumpolarsterne Erwähnung geschehen. Diese Sterne geben ein gutes Mittel ab, die Polhöhe zu bestimmen; deshalb wollen wir noch einige Zeit bei ihnen verweilen, um ein einfaches Verfahren, dieselbe zu finden, kennen zu lernen.

Die Mittelpunkte der Ebenen aller Parallelkreise liegen in der Achse des Himmels, und diese kann als die Summe aller dieser Mittelpunkte angesehen werden. Von unserm Standpunkte auf der Erde aus übertragen wir alle diese Punkte auf die Fläche des Himmels, und zwar ist der Pol, bei uns der Nordpol, ihr gemeinsamer scheinbarer Ort. Man pflegt dies durch den Satz auszudrücken: Der Pol ist der sphärische Mittelpunkt der Tagkreise aller Circumpolarsterne. Diese Sterne culminiren während eines Tages zweimal über dem Horizonte. In der oberen Culmination erreichen sie ihre größte,

in der unteren ihre kleinste Höhe. Genau in der Mitte zwischen beiden Culminationspunkten muß nach dem Obigen der Pol liegen. Wäre also die Lage der beiden Culminationspunkte und ihre Höhe über dem Horizonte bekannt, so würde man durch Halbirung des zwischen ihnen liegenden Meridianbogens den Pol selbst finden.

Es giebt ein sehr einfaches Instrument, welches zu Höhenmessungen besonders tauglich ist, nämlich der sogenannte Quadrant. Er besteht, wie aus der nebenstehenden *Figur 18* zu ersehen ist, aus zwei Hauptbestandtheilen, dem eigentlichen Quadranten und dem daran befestigten Fernrohre. Der eigentliche Quadrant ist ein gewöhnlich aus Messing gearbeiteter Viertelkreis *ACB*. Die beiden Seiten *AC* und *BC* stoßen in *C* unter einem rechten Winkel zusammen, und der Bogen *AB* ist in 90° und diese wieder in ihre Untertheile getheilt worden. In dem Mittelpunkte *C* des hinzuzudenkenden Kreises ist durch eine passende Vorrichtung ein Fernrohr befestigt und zwar so, daß es in *C* in der Ebene des Quadranten gedreht werden kann. Will man das Instrument zur Beobachtung benutzen, so bringt man es an einem Pfeiler oder auf einem passenden Fußgestelle in eine solche Lage, daß die Ebene des Quadranten mit der des Meridians zusammenfällt, sie also senkrecht auf dem Horizonte steht. Sodann stellt man die Seite *AC* horizontal, wodurch zugleich *CB* in die Vertikale kommt. Giebt man dem Fernrohre die Richtung *AC*, und sähe man dann in demselben den Stern *s*, so würde dieser Stern im Horizonte stehen und 0° Höhe haben. Hätte man aber den Circumpolarstern s' zur Beobachtung gewählt, so müßte man, um ihn bei seiner unteren Culmination im Fernrohre zu haben, dieses bis *u*, im angenommenen Falle 30°, senken; es machte also eigentlich die gedachte Achse desselben mit dem Horizonte *AC* den Winkel $ACu = 30°$. Ebenso groß wäre aber auch der Winkel sCs', die kleinste Höhe des Sternes s', als Scheitelwinkel von *ACu*. Nach 12 Std. (Sternzeit) steht der Stern bei seiner oberen Culmination in s''; das nach ihm gerichtete Fernrohr macht mit dem Horizonte den Winkel $ACo = 75°$, und dieselbe Größe hat der Winkel sCs'' oder die größte Höhe des Sternes. Genau in der Mitte zwischen s' und s'' oder den Punkten der größten und der kleinsten Höhe muß der Pol liegen. Der Bogen von s' bis s'' ist die Differenz zwischen der größten und der kleinsten Höhe des Sterns, in unserm Falle $= 75° - 30° = 45°$, und der Halbirungspunkt dieses Bogens, der Pol, ist daher von s' und s'' $\frac{45°}{2} = 22^1/_2°$ entfernt. Die gesuchte Polhöhe ist demnach $30° + 22^1/_2° = 52^1/_2°$, oder $75° - 22^1/_2° = 52^1/_2°$.

Fig. 18.



Spricht man dies in Worten aus, so hat man Folgendes:

1) Die Polhöhe eines Ortes ist gleich der kleinsten Höhe eines Circumpolarsternes, vermehrt um die halbe Differenz der größten und der kleinsten Höhe;

2) sie ist gleich der größten Höhe eines Circumpolarsternes, vermindert um die halbe Differenz der größten und der kleinsten Höhe desselben.

V. Von der Bestimmung der Position der Sterne.

Der Umstand, daß viele Sterne des Himmels in Gruppen zusammenstehen, die sich dem Auge leicht als solche darstellen, erleichtert das Orientiren am Himmel. Schon im Alterthume setzte man solche Gruppen mit Dingen des gewöhnlichen Lebens in Beziehung, und die Phantasie der Völker umgab sie mit entsprechenden Bildern, welche Sternbilder genannt werden, und die man heut noch auf den Himmelsgloben verzeichnet findet. Die Alten hatten 48 Sternbilder, unter andern auch die 12 Sternbilder des Thierkreises, die kennen zu lernen wir bereits Gelegenheit hatten. Doch haben dieselben im Laufe der Zeit mancherlei Abänderungen erfahren. In späteren Zeiten wurde die Zahl der Sternbilder vermehrt, und gegenwärtig werden gewöhnlich 104 derselben unterschieden. In der dritten Abtheilung des Buches werden dieselben genannt und die Art, sie zu finden, näher bezeichnet werden.

Wenn aber auch durch die Sternbilder ein Mittel gegeben ist, sich über die Stellung eines Sternes zu verständigen, so genügt doch den Astronomen eine solche Bestimmung nicht; ihnen muß es darauf ankommen, wo möglich den Ort jedes Sternes mit der größten Genauigkeit bestimmt zu sehen; denn nur dann ist es möglich, von den im Laufe der Zeit stattfindenden Ortsveränderungen der Sterne Kenntnis zu erlangen. Man hat es gegenwärtig in derartigen Bestimmungen mittelst der sehr vervollkommneten Meßinstrumente sehr weit gebracht, so daß die Position einer großen Anzahl von Sternen mit großer Schärfe bekannt ist. Die Bestimmung der Position eines Sternes kann in Beziehung auf drei größte Kreise geschehen, nämlich 1) den Horizont, 2) den Aequator, 3) die Ekliptik, und wer mit der Art der Bestimmung der Lage eines Ortes auf der Erdoberfläche durch geographische Länge und Breite bekannt ist, für den kann das Folgende keine Schwierigkeit haben.

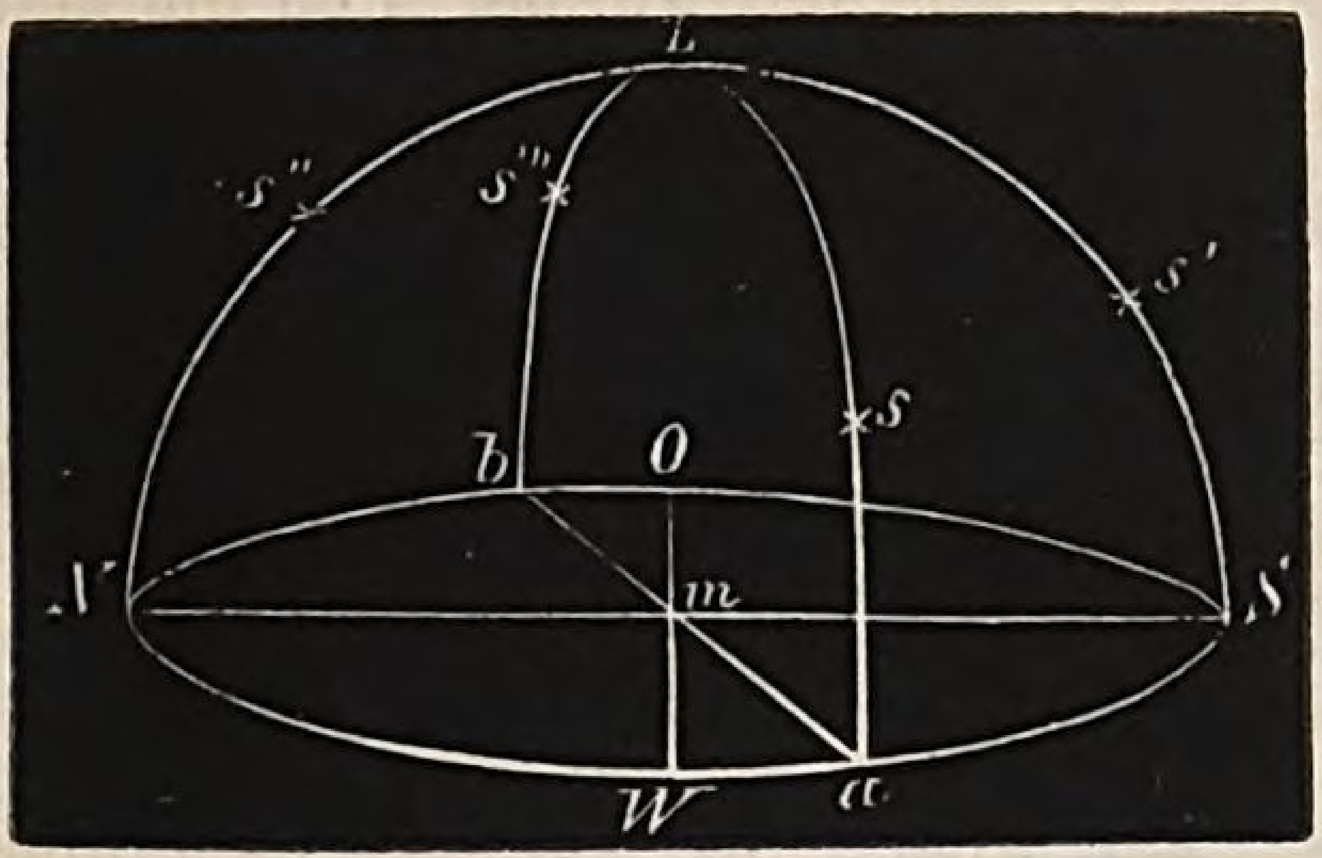
1. Die Bestimmung der Stellung eines Sternes in Beziehung auf den Horizont. Wir haben bereits den Meridian als den Vertikalkreis kennen gelernt, der durch die Pole des Himmels geht. Seine Durchschnittspunkte mit dem Horizonte sind der Südpunkt und der Nordpunkt; ersterer wird als der Anfangspunkt des Horizontes angesehen. Von ihm aus zählt man 360^{0} in der Richtung der täglichen Bewegung der Sterne, also von O. nach W., herum.

Will man die Lage eines Sternes zum Horizonte angeben, so hat man sich durch den Stern einen Vertikalkreis zu denken. Dieser macht mit dem Meridian im Zenithe einen Winkel, der durch den Bogen des Horizontes vom Südpunkte bis zum Durchschnittspunkte jenes Vertikalkreises mit dem Horizonte gemessen wird. Jenen Winkel oder diesen Bogen des Horizontes pflegt man die Südweite oder das Azimuth des Sternes zu nennen und zählt dieselbe, wie schon angedeutet, vom Südpunkte aus nach W. 360° herum. Zuweilen zählt man auch wohl 180° östliches und 180° westliches Azimuth.

Der Bogen des durch den Stern gehenden Vertikalkreises vom Horizonte bis zum Sterne hinauf wird die Höhe dieses Sternes genannt. Sie kann höchstens 90° betragen. Das Zenith hat 90° Höhe. In Beziehung auf den Horizont wird also die Lage eines Sternes durch Azimuth und Höhe bestimmt.

Veranschaulichung. In der *Fig. 19* sei *SWNO* der Horizont mit den 4 Cardinalpunkten, Kreis *SzN* der Meridian des Ortes *m*, und *azb* der durch den Stern *s* gehende Vertikalkreis. Dann ist Winkel *Sza* oder der Bogen *Sa* des Horizontes das Azimuth, *as* aber die Höhe des Sternes *s*. Der im Meridian stehende Stern *s'* würde 0° Azimuth haben und der Bogen *Ss'* seine Höhe messen. Der Stern *s''* aber hätte 180° Azimuth, und der Bogen *Ns''* wäre ein Maß für seine Höhe.

Fig. 19.



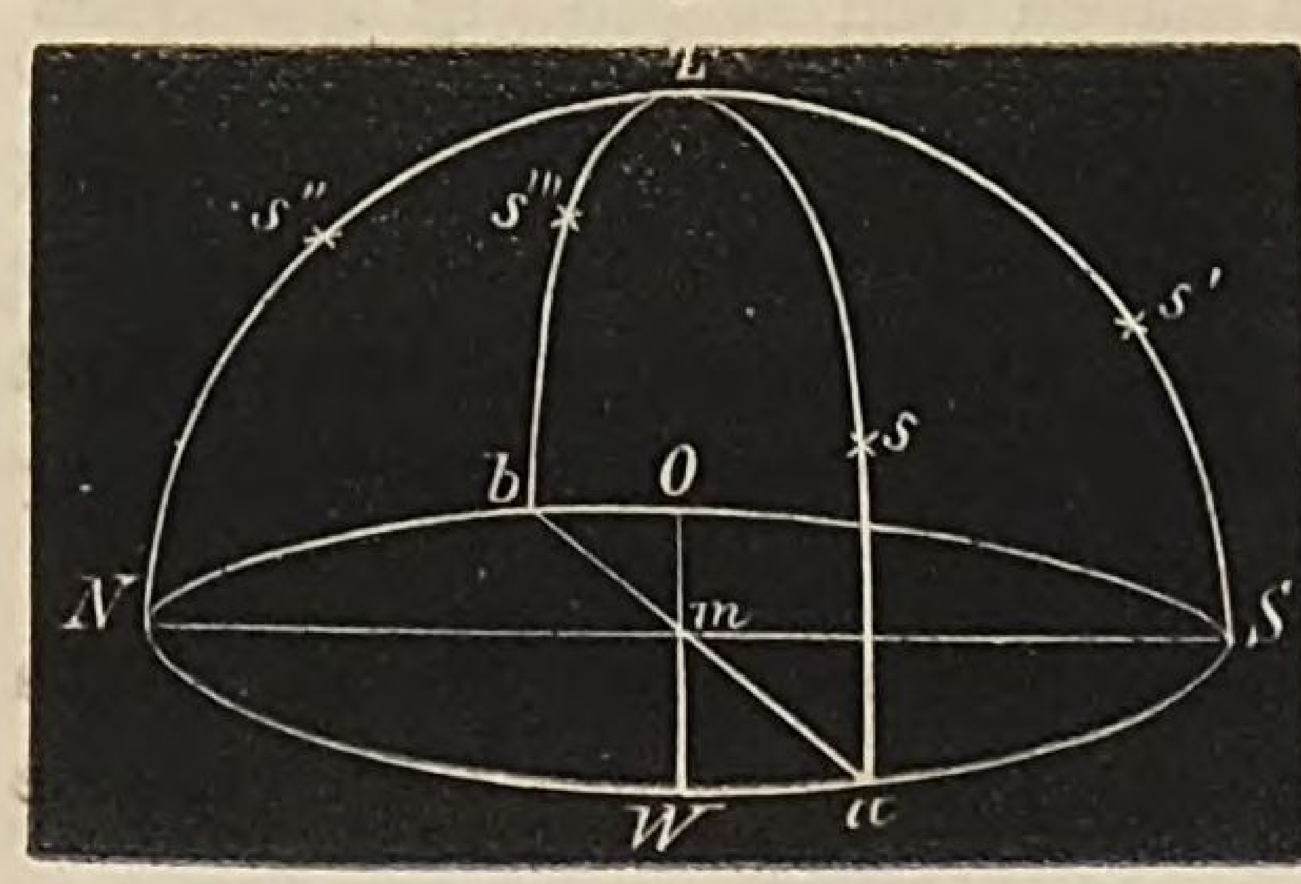
Da der ganze Himmel sich fortwährend dreht, so verändern alle Sterne beständig sowohl ihre Stellung gegen den Meridian, als auch gegen den Horizont, und darum auch ihr Azimuth und ihre Höhe. Es kann deshalb die Azimuth- und Höhenbestimmung eines Sternes nur für eine bestimmte Zeit und, da jeder Ort seinen eigenen Meridian hat, auch nur für einen bestimmten Ort Giltigkeit haben. Eine solche Ortsangabe eines Sternes erleichtert indessen das Auffinden desselben am Himmel, besonders wenn man ein mit einem Horizontal- und einem Vertikalkreise versehenes Fernrohr besitzt.

2. **Bestimmung der Stellung eines Sternes in Beziehung auf den Aequator.** Soll die Stellung eines Sternes in Beziehung auf den Aequator angegeben werden, so sind ebenfalls zwei Bestimmungen nöthig, die dem Azimuth und der Höhe entsprechen, aber andere Namen haben. Als Anfangs- oder Nullpunkt des Aequators wird der Frühlingspunkt angenommen, und man zählt von ihm in der Richtung der jährlichen Bewegung der Sonne, also von W. nach O., 360° herum.

Legt man sich nun in Gedanken durch den zu bestimmenden Stern einen durch die Pole des Aequators gehenden größten Kreis, der also auf dem Aequator senkrecht steht, so heißt der Winkel, den dieser Kreis mit dem Colur der Nachtgleichen (S. 32) im Pole bildet, die gerade Aufsteigung oder Rectascension

des Sternes. Das Maß dieses Winkels ist der Bogen des Aequators vom Frühlingspunkte bis zum Durchschnittspunkte des durch den Stern gehenden Kreises mit dem Aequator, und es wird gewöhnlich dieser Bogen als die gerade Aufsteigung des Sternes angesehen. Der durch den Stern gehende größte Kreis heißt hier Abweichungs- oder Deklinationskreis, auch wohl Stundenkreis, weil die Rectascension als Bogen des Aequators auch in Zeit angegeben werden kann (S. 59). Der Colur der Nachtgleichen aber ist der erste Deklinationskreis. Der Bogen des durch den Stern gehenden Deklinationskreises, vom Aequator bis zum Sterne hinauf, wird die Abweichung oder die Deklination des Sternes genannt. Es kann also ein Stern höchstens 360^{0} oder 24^{h} Rectascension (AR), aber nur 90^{0} Deklination haben. Letztere zählt man nach N. und nach S. vom Aequator aus als nördliche und südliche Deklination, und pflegt erstere durch + D oder bloß mit D, letztere mit — D zu bezeichnen. Wäre also z. B. die Position eines Sternes durch AR $= 118^{0}$, $+ D = 40^{0}$ bezeichnet, so würde diese Bezeichnung bedeuten, daß der Stern 118^{0} Rectascension und 40^{0} nördliche Deklination besitze. Verwandelt man die Rectascension in Zeit, so hätte man statt obiger Angabe AR $= 7^{h}\ 52^{m}$, $+ D = 40^{0}$ schreiben können.

Fig. 20.



Wäre in *Fig. 20* Kreis *SWNO* jetzt der Aequator und in ihm *S* der Frühlingspunkt, so wäre der durch den Stern *s'''* und den Pol *z* gehende Kreis *azb* der Stundenkreis des Sternes, Winkel *Szb* oder Bogen *Sb* seine Rectascension, und *bs'''* seine nördliche Deklination.

Da die Fixsterne ihre Stellung zum Aequator und zum Frühlingspunkte nicht in jedem Augenblicke, wenigstens nicht merklich, ändern, so hat die Angabe ihrer Position nach Rectascension und Deklination nicht bloß für einen bestimmten Zeitmoment und für einen bestimmten Ort der Erde, sondern eine allgemeinere Giltigkeit. Ohne alle Veränderung sind indessen diese Größen auch nicht; doch machen sich dieselben erst nach langen Zeitabschnitten dem Auge bemerklich. Näheres über diese Sache wird ein späterer Abschnitt bringen; hier kommt es nur auf Auffassung der Hauptverhältnisse an.

3. **Bestimmung der Stellung eines Sternes in Beziehung auf die Ekliptik.** Wegen der Wichtigkeit, welche die Ekliptik bei der jährlichen Bewegung der Sonne hat, pflegt man die Stellung der Sterne auch in Beziehung auf sie anzugeben. Als Anfangspunkt derselben rechnet man ebenfalls den Frühlingspunkt und zählt von ihm in der Reihenfolge der Zeichen oder von W. nach O., also wie im Aequator, 360^{0} herum.

Denkt man sich durch den zu bestimmenden Stern einen auch durch die

Pole der Ekliptik (S. 41) gehenden größten Kreis, der also auf der Ekliptik senkrecht steht, so ist der Winkel, den jener Kreis mit dem durch die Aequinoctial-Punkte und die Pole der Ekliptik gehenden größten Kreise in diesen Polen bildet, die Länge des Sternes. Diese wird durch den Bogen der Ekliptik vom Frühlingspunkte bis zu dem Durchschnittspunkte des durch den Stern gehenden größten Kreises mit der Ekliptik gemessen, weshalb auch dieser Bogen die Länge des Sternes genannt wird. Der durch den Stern und die Pole der Ekliptik gehende größte Kreis heißt der Breitenkreis des Sternes. Der durch den Frühlingspunkt gehende Breitenkreis heißt der erste Breitenkreis. Ein Stern kann höchstens 360° Länge haben.

Den Bogen des durch den Stern gehenden Breitenkreises von der Ekliptik bis zum Stern nennt man die Breite des Sternes und unterscheidet, wie bei der Deklination, 90° nördliche und 90° südliche Breite.

Denkt man sich in der *Fig. 20* den Kreis *SWNO* als Ekliptik, dann ist *azb* der Breitenkreis des Sternes *s‴*, Winkel *Szb* oder der Bogen *Sb* seine Länge und Bogen *bs‴* seine Breite.

Auch Längen- und Breitenbestimmungen der Fixsterne haben eine längere Giltigkeit, wenngleich auch bei ihnen kleine Aenderungen sich bemerklich machen, deren später Erwähnung gethan werden wird.

4. **Zusammenfassung.** Ueberblicken wir das Gesagte noch einmal, so sehen wir, daß zu einer genauen Ortsbestimmung eines Sternes in Beziehung auf die 3 genannten Kreise je zwei Angaben nöthig sind, die einander entsprechen, und daß in allen Fällen ein größter Kreis durch den Stern gelegt werden muß, der auf dem Kreise, in Beziehung auf den die Ortsbestimmung geschehen soll, senkrecht steht.

Für den Horizont geschieht die Ortsbestimmung eines Sternes durch Azimuth, von O. nach W. gezählt, und Höhe. Der durch den Stern gehende Kreis heißt Höhenkreis.

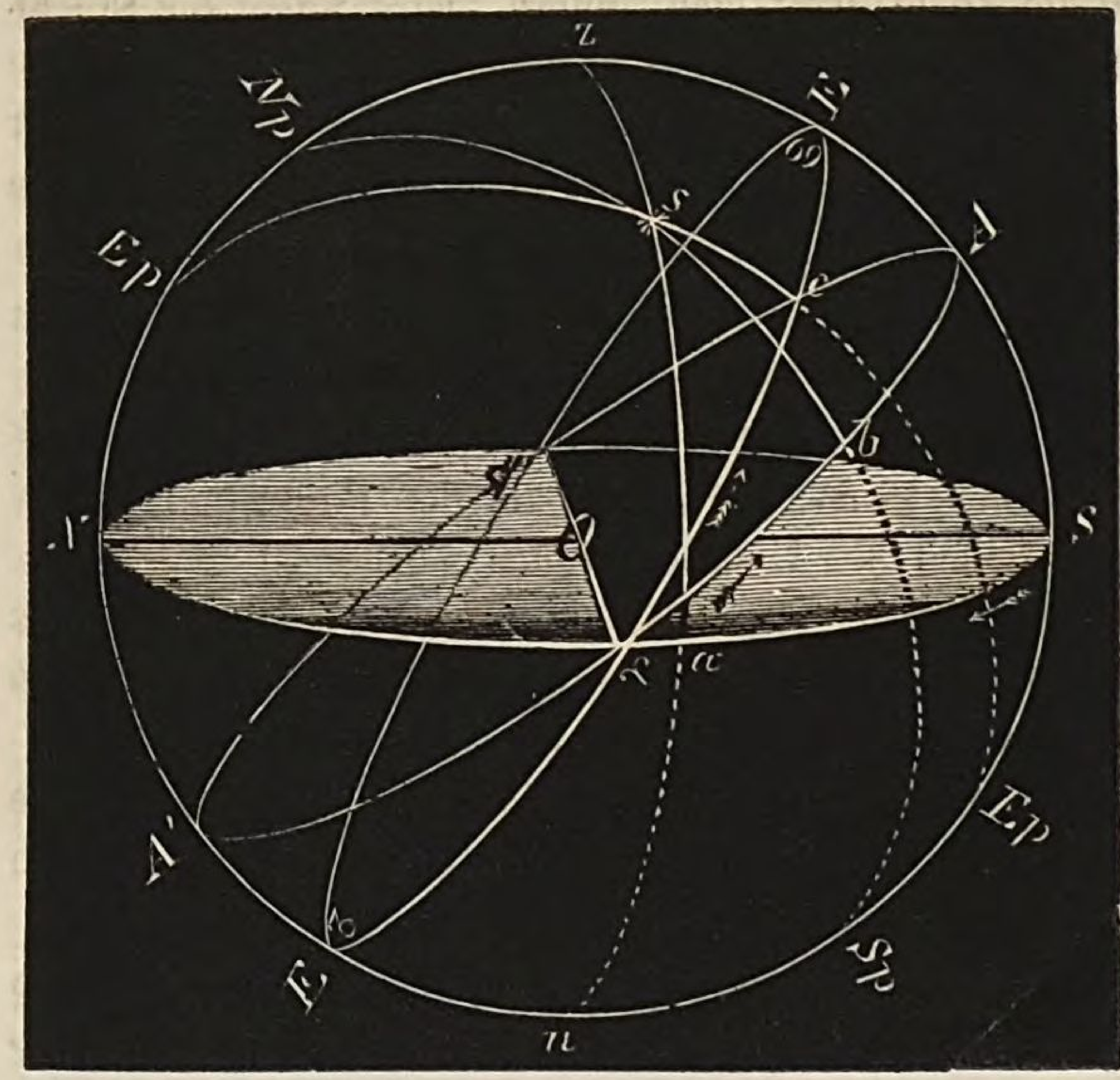
Für den Aequator wird die Ortsbestimmung eines Sternes durch Rectascension, von W. nach O. gezählt, und Deklination, nördliche und südliche, bewirkt. Der durch den Stern gehende größte Kreis wird Deklinationskreis genannt.

Für die Ekliptik ist Angabe von Länge, von W. nach O. gezählt, und Breite, nördliche und südliche, zur genauen Ortsbestimmung eines Sternes erforderlich. Der durch den Stern gehende größte Kreis heißt Breitenkreis. Das gegenseitige Verhältnis der genannten Größen möge aus *Fig. 21* erkannt werden.

In dieser *Fig.* stellt der äußerste Kreis die Himmelskugel vor, zugleich ist dieser Kreis der Meridian des Ortes *O.*; Kreis *SaN* ist der Horizont dieses Ortes und *S* der Südpunkt. Punkt *z* ist das Zenith von *O* und *zsa* ein Theil des durch den Stern *s* gehenden Höhenkreises. Der Kreis *AA′* ist der Aequator und in ihm ♈ der Frühlingspunkt, *Np* aber der Nordpol des Aequators. *Npb* ist ein Theil des durch den Stern *s* gehenden Deklinationskreises. Der

Kreis *EE* ist die Ekliptik mit ihren 4 Hauptpunkten, den beiden Aequinoctial- und Solstitialpunkten. *Ep* ist der Nordpol der Ekliptik und *Epc* ein Theil des durch den Stern *s* gehenden Breitenkreises.

Fig. 21.



Die Figur stellt die Lage der Himmelskugel so dar, wie sie um 6 Uhr abends am 21. März ist. Es ist nun *Sa* das Azimuth, ♈*b* die Rectascension und ♈*c* die Länge, dagegen *as* die Höhe, *bs* die nördliche Deklination und *cs* die nördliche Breite des Sternes *s*.

Der Frühlingspunkt ♈ hat, auf den Horizont bezogen, jetzt 90° Azimuth (*S*♈) und 0° Höhe, der Herbstpunkt ♎ hingegen 270° Azimuth (*S*♈*N*♎) und ebenfalls 0° Höhe. Der Sommer-Solstitialpunkt ♋ hat 0° Azimuth und 61° Höhe (*SA* + *AE*), der Winter-Solstitialpunkt ♑ 180° Azimuth und — 61° Höhe.

In Beziehung auf den Aequator hat der Frühlingspunkt ♈ 0° *AR* und 0° *D*, der Herbstpunkt ♎ hingegen 180° *AR* und 0° *D*. Der Sommer-Solstitialpunkt ♋ hat 90° *AR* (♈♋) und $23^1/_2$° + *D* (*AE*), der Winter-Solstitialpunkt ♑ 270° *AR* (♈♋♎♑) und $23^1/_2$° — *D* (*A'E*).

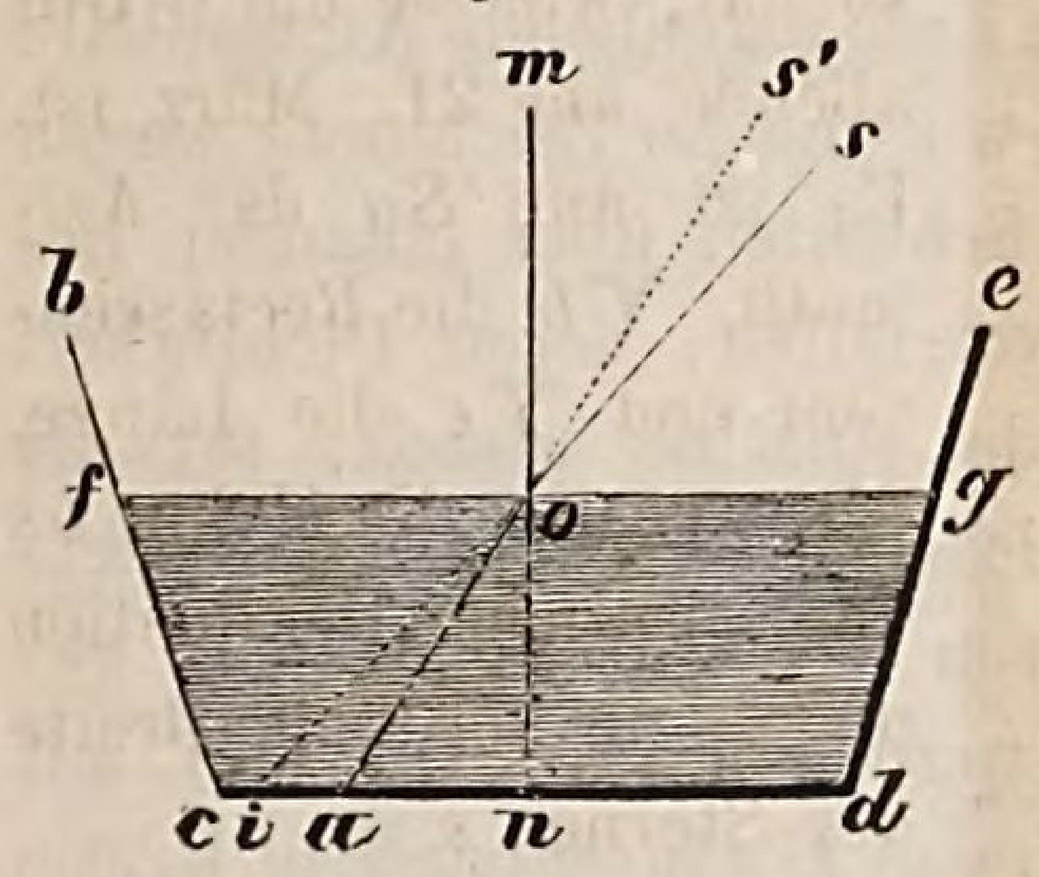
In Beziehung auf die Ekliptik hat der Frühlingspunkt ♈ 0° Länge und 0° Breite, der Herbstpunkt 180° Länge und 0° Breite, der Sommer-Solstitialpunkt 90° Länge und 0° Breite, der Winter-Solstitialpunkt 270° Länge und 0° Breite. Der Nordpol des Aequators, *Np*, hat 90° Länge und $66^1/_2$° nördliche Breite u. s. w.

VI. Von der Strahlenbrechung.

1. **Brechung des Lichtes.** Will der Astronom die Lage eines Sternes am Himmel bestimmen, so darf er den durch die Richtung seines Fernrohrs bezeichneten Ort desselben nicht für den wahren Ort am Himmel betrachten; denn dadurch, daß das von den fernen Weltkörpern zur Erde gelangende Licht die Reise durch die Atmosphäre machen muß, werden alle Sterne an einen

andern Ort versetzt. Das Licht nämlich pflanzt sich im allgemeinen in gerader Linie fort; dies ist aber nur so lange genau der Fall, als der Stoff (das Medium), durch welchen der Lichtstrahl geht, in allen Theilen eine gleichmäßige Dichtigkeit hat; sowie aber die Dichtigkeit sich ändert, wird auch der Strahl von der geraden Linie nach bestimmten Gesetzen abgelenkt oder gebrochen.

Fig. 22.



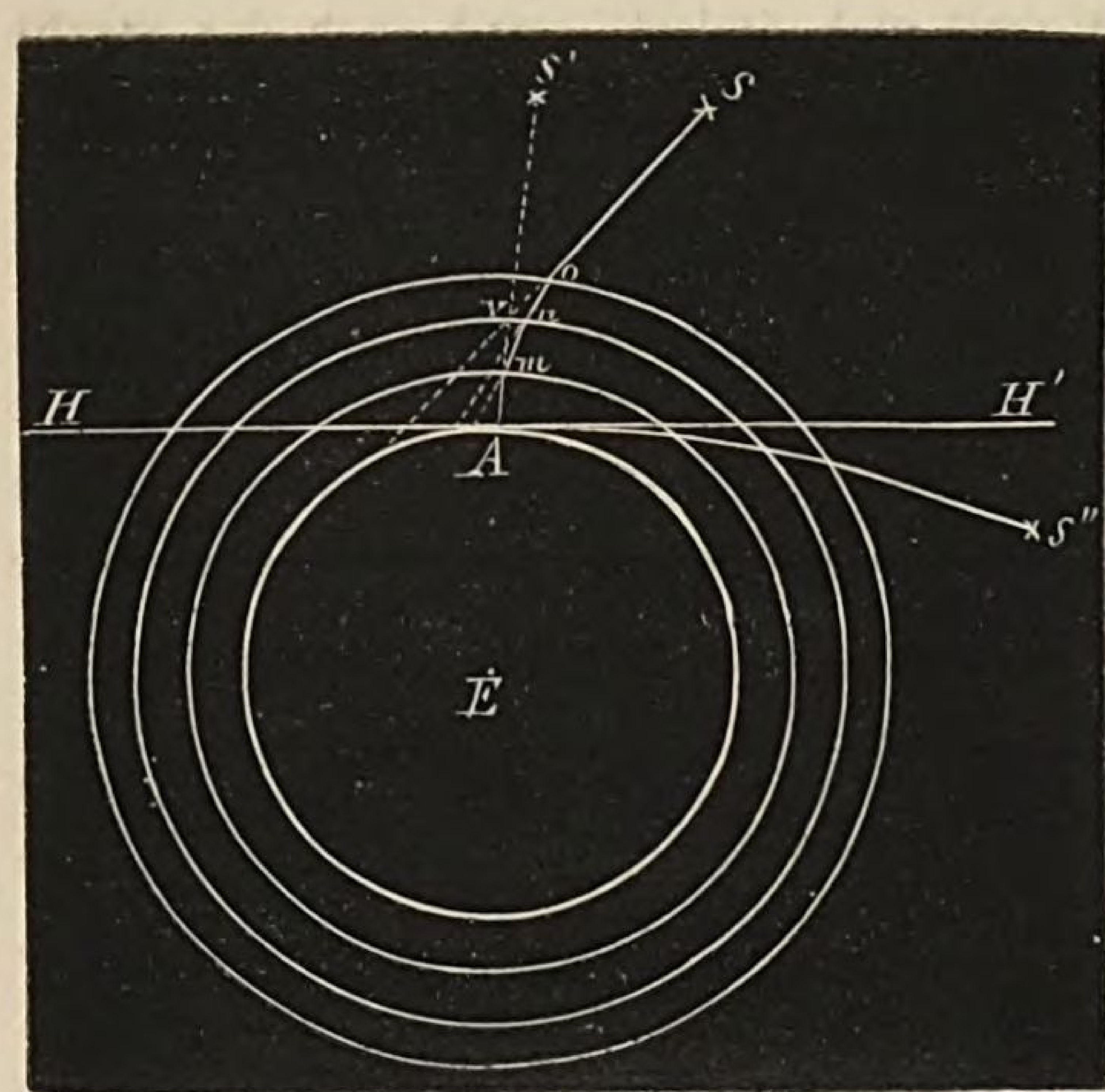
Es stelle, *Fig. 22*, *bcde* ein Gefäß vor, in welchem eine Flüssigkeit, wir wollen annehmen Wasser, bis *fg* hinaufreicht. Fiele nun ein Lichtstrahl von dem Punkte *s* schief auf die Fläche des Wassers *fg*, so müßte derselbe, wenn er seine Richtung *so*, in welcher er die Luft durchschneidet, auch im Wasser fortsetzte, den Punkt *i* auf dem Boden des Gefäßes treffen. Dies ist aber nicht der Fall. Da Wasser dichter ist als Luft, so ändert er von dem Punkte *o* an, in welchem er die Fläche des Wassers trifft, augenblicklich seine Richtung, und zwar in der Weise, daß er sich der in dem Punkte *o* auf *fg* errichteten senkrechten Linie *m o n*, die man das Einfallsloth nennt, nähert und etwa seinen Weg in der Richtung *oa* fortsetzt. Man sagt nun von dem Lichtstrahle, er sei gebrochen, und zwar dem Einfallslothe zu. Ein Auge, das in dem Punkte *a* wäre, würde den leuchtenden Punkt *s* nicht in *s*, sondern in der Richtung von *aos'* sehen, da das Auge einen Gegenstand in der Richtung zu sehen glaubt, in welcher das Licht desselben zuletzt zu ihm kommt. Es würde der Punkt *s* also höher gesehen werden, als er wirklich steht; der durch das Wasser gesehene Ort desselben würde also nicht der wahre Ort sein. Nur in einem Falle würde der scheinbare Ort des Punktes mit dem wahren zusammenfallen, wenn nämlich der Lichtstrahl die Fläche *fg* senkrecht getroffen hätte; denn ein senkrecht einfallender Strahl wird nicht gebrochen, sondern geht ungebrochen hindurch.

2. **Anwendung auf die Erde.** In dem Falle des Auges auf dem Grunde des Gefäßes befinden wir uns auf der Erde. Die Erde ist nämlich bis zu einer nicht genau bekannten Höhe mit Luft umgeben. Da nun die Luft ein Körper ist, so müssen die einzelnen Theile derselben einen Druck auf einander ausüben, und darum müssen die der Erdoberfläche nächsten Theile der Luft die größte Dichtigkeit haben; mit der Höhe aber nimmt der Druck der Luft ab. Was an der oberen Grenze der Atmosphäre sich findet, ist nicht bekannt; man vermuthet daselbst aber einen ganz feinen Stoff, Aether genannt, für dessen Existenz manche später zu nennende Thatsachen sprechen.

Wenn das Licht eines Sternes auch in gerader Linie oder ungebrochen durch den Aether eilt, so kann dies doch nicht bei der Reise durch die Atmosphäre geschehen; vielmehr muß der Lichtstrahl wegen stets sich ändernder Dichtigkeit derselben fortwährend in der bezeichneten Weise gebrochen werden. Eine natürliche Folge davon ist, daß wir keinen Stern, mit Ausnahme des

etwa im Zenithe stehenden, an seinem wahren Orte erblicken, sondern daß alle höher zu stehen scheinen, als sie wirklich stehen.

Fig. 23.



Es sei in *Fig. 23* der innerste Kreis mit dem Mittelpunkte *E* die Erde und an dieser die gerade Linie *HH'* der Horizont des Punktes *A*. Die die Erde umgebende Atmosphäre wollen wir uns der Zeichnung wegen als in Schichten über einander liegend vorstellen, deren Dichtigkeit für jede einzelne gleich, für die verschiedenen aber mit der Entfernung von der Erde abnehmend gedacht werden mag. Die drei mit dem Kreise *E* concentrischen Kreise mögen drei solcher Schichten bezeichnen. Wenn das Licht des Sternes *s* durch den Aether in der geraden Linie *so* fortgegangen ist, so muß bei *o* eine Brechung erfolgen, so daß die Fortsetzung des Strahles *on* ist. In diesem letzteren Punkte *n*, in welchem die zweite Schicht beginnt, muß wegen zunehmender Dichtigkeit abermals eine Brechung des Strahles eintreten, so daß etwa *nm* die Fortsetzung desselben ist. Die dritte Brechung findet in *m*, am Anfange der dritten Schicht statt, so daß der von *s* kommende Strahl in *A* zur Erde gelangt. Ein Bewohner in *A* würde mithin den Stern *s* in der letzten Richtung *Am*, in *s'*, also dem Zenithe näher sehen. Die ganze Ablenkung des Sternes würde durch den Winkel bestimmt werden, den die erste Richtung des Strahles mit der letzten bildet, in unserm Falle also durch den Winkel *svs'*.

Wegen der Strahlenbrechung würde ferner der Stern *s''*, der noch unter dem Horizonte von *A* steht, so gehoben werden, daß er für diesen Ort schon über dem Horizonte gesehen werden könnte.

Die obige Annahme, nach welcher die Luft in Schichten von gleicher Dichtigkeit übereinanderliegt, wird durch die Erfahrung nicht bestätigt, sondern es findet eine stetige Abnahme der Dichtigkeit mit zunehmender Höhe statt. Darum kann auch der ganze Weg des Lichtstrahls nicht eine gebrochene Linie sein, wie in *Fig. 23*, sondern er muß vielmehr einen Bogen bilden, dessen letzte Punkte, oder eigentlich dessen Tangente, die Richtung bestimmen, in welcher der Stern gesehen wird.

So ändert die Strahlenbrechung, die man in Beziehung auf die Himmelskörper die astronomische Refraction nennt, die Lage aller Sterne am Himmel, mit Ausnahme der im Zenithe stehenden, und man darf, wenn es auf genaue Ortsbestimmung der Sterne ankommt, dieselbe nicht außer acht lassen.

3. **Größe der Strahlenbrechung.** Die Größe der Strahlenbrechung ist

nicht für alle Punkte des Himmels gleich; sie ist am größten am Horizonte und nimmt von hier mit zunehmender Höhe rasch ab, um im Zenithe gänzlich zu verschwinden. Die Astronomen haben Tafeln für die Refraction berechnet, und können vermittelst derselben den scheinbaren Ort eines Sternes leicht in den wahren verwandeln, indem sie die für die beobachtete Höhe geltende Größe der Strahlenbrechung von dieser Höhe abziehen. Sehr gute Refractionstafeln hat der berühmte Astronom *Bessel* berechnet.

Die Größe der Strahlenbrechung für verschiedene Höhen von 5 zu 5° ist aus der folgenden Tabelle zu ersehen, die aus »Littrow's Wundern des Himmels« entlehnt ist.

Beobachtete Höhe.	Refraction.	Beobachtete Höhe.	Refraction.
0°	33′ 0″	50°	0′ 49″
5	9 50	55	— 41
10	5 18	60	— 33
15	3 33	65	— 27
20	2 38	70	— 21
25	2 4	75	— 16
30	1 40	80	— 10
35	1 23	85	— 5
40	1 9	90	— 0
45	0 58		

Die hier angegebenen Werthe haben indessen nicht allgemeine Giltigkeit, sondern nur für einen bestimmten Zustand der Luft, wie er bei einem Barometerstande von 28 Par. Zoll und einer Temperatur von 10° Réaumur stattfindet. Veränderte Luftbeschaffenheit, namentlich veränderte Dichtigkeit derselben, ändert die Größe der Strahlenbrechung. Von der Entfernung der einzelnen Sterne von der Erde ist sie unabhängig, da alle bedeutend über der oberen Grenze der Atmosphäre stehen. Die Vergleichung der obigen Zahlenwerthe zeigt, daß die Größe der Strahlenbrechung mit zunehmender Höhe sehr rasch abnimmt. Am größten ist sie am Horizonte, wo sie 33′, also etwas mehr als $^1/_2$° beträgt. In einer Höhe von 45° ist sie kaum 1′ groß, im Zenithe ist sie gleich 0.

Daß sie am bedeutendsten am Horizonte sein muß, ist sehr begreiflich; denn man sieht die Sterne dann durch den Theil der Atmosphäre, welcher der Erde am nächsten und darum am dichtesten, zugleich aber auch mit den mannigfaltigsten Dünsten angefüllt ist.

4. **Schwächung des Lichtes der Sterne.** Eine Folge dieses letzteren Umstandes ist die Schwächung des Lichtes, welche Sonne, Mond und

Sterne in der Nähe des Horizontes erfahren; denn während z. B. die Sonne in größerer Höhe einen solchen Glanz zeigt, daß sie ohne Gefahr für die Augen nicht angeschaut werden kann, erscheint sie nahe am Horizonte, durch die in der Luft schwebenden Dünste getrübt, gewöhnlich als eine röthliche Scheibe, in die man zuweilen mit ungeschützten Augen schauen kann. Die kleineren Sterne sind nahe dem Horizonte fast gar nicht sichtbar, und können erst in größerer Höhe über dem Horizonte beobachtet werden. In dieser Höhe durchläuft das von ihnen ausgehende Licht die dichtesten Luftschichten auf einem kürzeren Wege, wie aus *Fig. 23* durch Vergleichung des Lichtweges des Sternes *s* mit dem des Sternes *s''* ersehen werden kann, und es erfährt darum eine geringere Schwächung als am Horizonte.

5. **Terrestrische Refraction.** Von der astronomischen Refraction muß man die terrestrische unterscheiden. Da nämlich zwischen uns und den auf der Erde befindlichen Gegenständen sich Luft befindet, durch welche hindurch das von den Gegenständen ausgehende Licht zu uns gelangt, so muß dadurch auch der Ort eines Gegenstandes verändert werden. Diese Veränderung ist um so bedeutender, je weiter der Gegenstand von uns entfernt ist; da aber nicht die ganze, sondern nur ein geringer Theil der Atmosphäre ablenkend wirkt, so ist im allgemeinen die terrestrische Refraction viel geringer als die astronomische; sie beträgt z. B. für eine Entfernung von 6000 Fuß nur 5''.

6. **Aenderung der scheinbaren Gestalt der Sonne und des Mondes durch die Refraction.** Einem aufmerksamen Beobachter der auf- und untergehenden Sonne oder des auf- und untergehenden Mondes kann es nicht entgehen zu bemerken, daß beide Körper zu dieser Zeit nicht als vollkommen kreisrunde Scheiben erscheinen, sondern sich stets etwas von oben nach unten zusammengedrückt zeigen. Diese Erscheinung findet in der astronomischen Refraction ihre Erklärung. Wenn nämlich Sonne oder Mond eben aufgegangen oder im begriff sind, eben unterzugehen, so daß ihr unterer Rand den Horizont berührt, so wird dieser untere Rand durch die Strahlenbrechung 33', der obere Rand aber, der bereits in etwa 32' Höhe steht (Sonne und Mond haben einen scheinbaren Durchmesser von etwa 32') nur 28', also 5' weniger, gehoben. Es wird dadurch der obere Rand der Scheibe dem untern um 5' genähert, und die Folge ist die längliche, zusammengedrückte Gestalt der Scheibe. Der rechte und linke Theil der Scheibe werden gleich stark gehoben, und mithin wird ihre Entfernung von einander nicht verändert. Da mit zunehmender Höhe die Strahlenbrechung rasch abnimmt, so ist die oben beschriebene Aenderung der Gestalt der Sonne und des Mondes nur in der Nähe des Horizontes wahrzunehmen.

7. **Scheinbare Näherung der Sonne und des Mondes durch die Refraction.** Die Refraction ist auch die Ursache, daß zur Zeit des Vollmondes Mond und Sonne zugleich über dem Horizont gesehen werden können, obwohl ihre Entfernung volle 180° beträgt. Besonders auffällig ist die Erscheinung, wenn eine Mondfinsternis bei dem eben aufgehenden Vollmonde sich

ereignet. Damit der Schatten der Erde den Vollmond verdunkeln könne, müssen Sonne, Erde und Mond mehr oder weniger in gerader Linie stehen; dies scheint aber im obigen Falle gar nicht der Fall zu sein, da man die Sonne und den verfinsterten Mond zugleich über dem Horizonte sieht. — Wegen der Refraction sind die von den Sternen beschriebenen Tagkreise auch keine vollkommenen Kreise.

8. **Verlängerung der Tage durch die Refraction.** Außerdem übt die Strahlenbrechung einen nicht unmerklichen Einfluß auf die Länge der Tage aus, indem sie die eigentlich noch nicht aufgegangene und die schon untergegangene Sonne über den Horizont emporhebt. Auf diese Weise wird ihr Aufgang verfrüht, ihr Untergang verspätet, der Tag also verlängert, und es beträgt diese Verlängerung für unsere Breiten etwa 8 Minuten. Viel beträchtlicher indessen ist diese Verlängerung in den Polargegenden, wo sie mehrere Tage, ja Wochen betragen kann. Ein interessanter Umstand dabei ist, daß keinem Orte der Erde die Tage dadurch gekürzt werden; vielmehr werden selbst auf entgegengesetzten Halbkugeln der Erde lebende Bewohner derselben Wohlthat zugleich theilhaftig. Auf diese Weise hat der Schöpfer an einen anscheinend so geringfügigen Umstand so segensreiche Folgen geknüpft.

Zweite Abtheilung.

Von den wirklichen Bewegungen der Himmelskörper.

Einleitung.

In der ersten Abtheilung dieses Buches haben wir die Erscheinungen kennen gelernt, welche Sonne, Mond und Sterne einem aufmerksamen Beobachter darbieten. Allein nur zu oft müssen wir im Leben erfahren, daß die Erscheinungen nicht immer der wahre Sachverhalt sind, und daß, wenn auch nach *Gœthe* die Sinne eigentlich nicht trügen, doch häufig unser Urtheil trügt. Es ist darum, wenn irgend wo, so hier, wo es sich um unsere Erde und die mit ihr in so wichtigen Beziehungen stehenden Himmelskörper handelt, gerechtfertigt, sich die Frage vorzulegen: Ist das, was wir sehen, der wirkliche Thatbestand, oder sind es nur die Folgen anderer Verhältnisse? Ist die Erde wirklich, wie sie sich uns darstellt, eine große Scheibe, wofür sie im Alterthum so lange gehalten worden ist und von manchen Völkern wohl noch heute gehalten wird? Schwingen sich ferner in der That Sonne, Mond und Sterne täglich in der beschriebenen Weise um die Erde herum? Oder sind nicht vielmehr zwingende Gründe vorhanden, die einen anderen Sachverhalt mehr als wahrscheinlich machen? Mit der Beantwortung dieser Fragen, die auch heute noch nicht überflüssig sind, wie die neueste Zeit gelehrt hat, haben sich denkende Männer zu den verschiedensten Zeiten vielfach beschäftigt und eine reiche Fülle werthvollen Materials zum eigenen Nachdenken geliefert, mit dessen Hülfe wir selbst die Beantwortung der oben gestellten Fragen versuchen können. Die Ansichten der Männer der Wissenschaft hier darzulegen, zu zeigen, wie die sich uns darbietenden Erscheinungen ihre naturgemäße Erklärung finden, ist der Zweck der nun folgenden Abtheilung dieses Buches.

Am natürlichsten und zweckmäßigsten ist es, uns zuerst über die wahre Gestalt der Erde aufzuklären, da wir auf ihr unseren Standpunkt haben, von dem aus wir die Erscheinungen am Himmel betrachten.

Erster Abschnitt.

Von der Erde.

Erstes Kapitel.

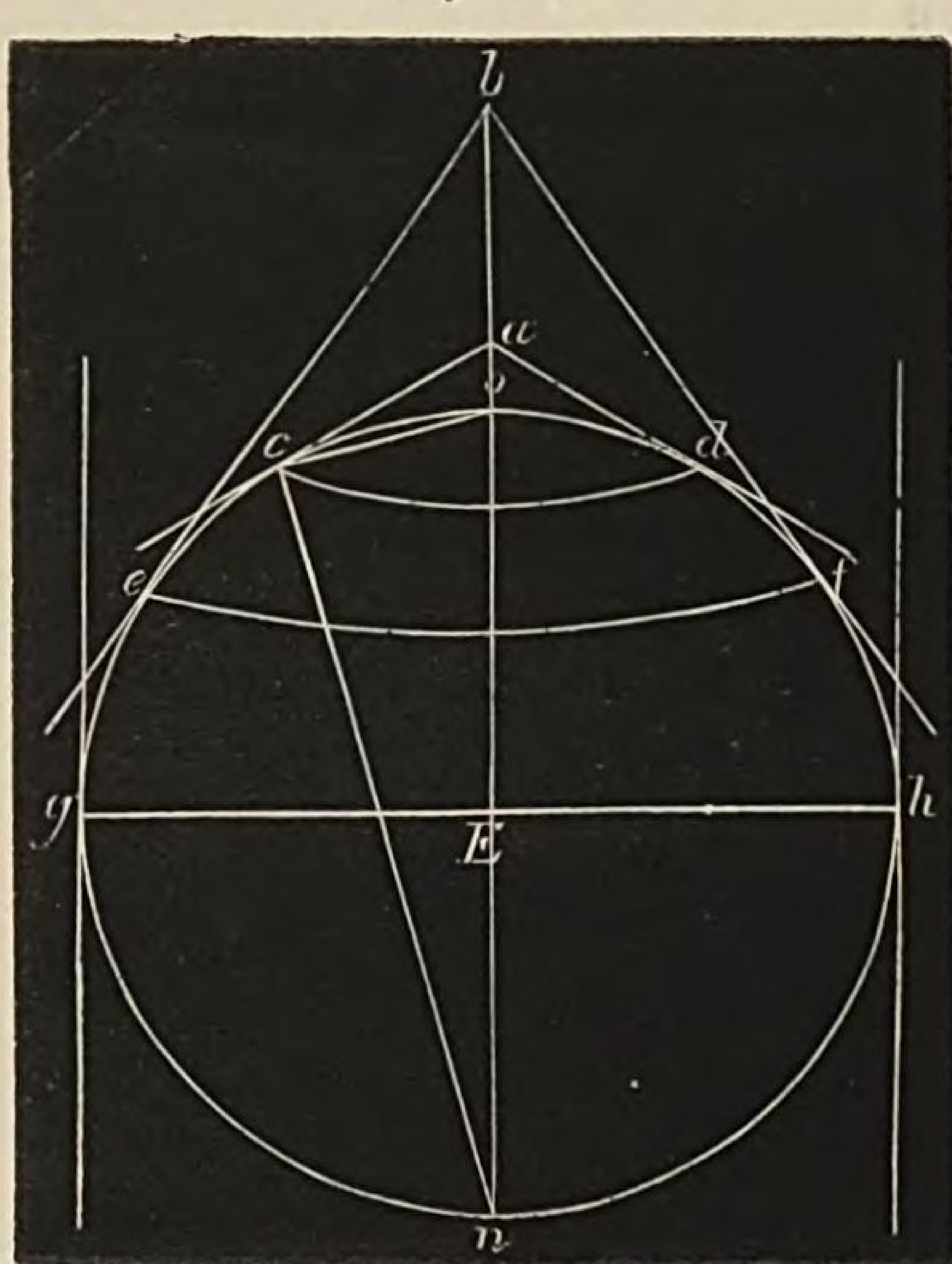
Die Erde hat eine kugelförmige Gestalt.

Im Alterthum nahm man die Erde als das, was sie zu sein scheint, als eine Scheibe an. Nach *Homer* (950 v. Chr.) war sie eine ruhende runde Scheibe, von dem Flusse Okeanos umflossen, nach *Thales* von Milet (650 v. Chr.) eine auf dem Wasser schwimmende Scheibe, nach *Anaximander*, seinem Schüler (550 v. Chr.), ein Cylinder, dessen kreisförmige Grundfläche bewohnt sei u. s. w. Es fehlte aber auch im Alterthume nicht an Männern, welche die Kugelgestalt der Erde behaupteten, wie *Pythagoras*, *Eudoxus* und am bestimmtesten *Aristoteles* (384 v. Chr.); allein sie vermochten diese Ansicht nicht gehörig zu beweisen, und standen darum mit derselben mehr oder weniger vereinzelt da. Es giebt indessen mannigfache Erscheinungen und Beobachtungen auf der Erde und am Himmel, die entschieden dafür sprechen, daß die Erde keine Scheibe, sondern ein kugelförmiger Körper ist. Die wichtigsten derselben sind die folgenden:

1. **Die überall kreisförmige Gestalt und die Kleinheit des Horizontes.** Hätte die Erde wirklich eine scheibenförmige Gestalt, so müßte unser Horizont jedenfalls eine viel bedeutendere Größe haben; denn wenn auch die trübenden Dünste der Atmosphäre uns hindern würden, die ganze Scheibe zu überschauen, so könnte doch diese Schranke des Sehens nicht schon in der Entfernung von einer halben Meile eintreten, bis wohin der Blick eines im freien Felde stehenden Beobachters bei klarer Luft etwa reicht. Daß die Luft in dieser geringen Entfernung noch nicht undurchsichtig zu sein pflegt, erfahren wir daraus, daß der Horizont bei Erhöhung des Standpunktes sich weiter und weiter hinausschiebt. Es liegt darum nichts näher, als die Ursache des kleinen Horizontes in der Krümmung der Erdoberfläche zu suchen, und diese Krümmung muß eine allseitige, und zwar ziemlich gleichmäßige sein, da der Horizont überall, auch auf dem Meere, nur klein erscheint. Daß bei der Kugelgestalt der Erde der Horizont überhaupt kreisförmig erscheinen muß, lehrt die Betrachtung der *Fig. 24*.

Es stelle Kreis *E* die Erdkugel vor. Befände sich das Auge eines Beobachters in *a*, so würden zwei entgegengesetzte Gesichtslinien als Tangenten die Erde in *c* und *d* berühren, und wenn wir uns um uns selbst drehten, so würden ähnliche Tangenten die Erdoberfläche in Punkten treffen, die gleich weit von unserm Auge entfernt wären, und also in einem Kreise lägen, in dessen Mittelpunkte wir stehen. Für das Auge in *a* würde die Kreislinie *c d* unsern Horizont bilden. Durch Rechnung läßt sich ferner beweisen, daß bei der bekannten Größe der Erdkugel der Horizont die beobachtete Größe haben muß.

Fig. 24.



2. **Der Horizont vergrößert sich bei Erhöhung des Standpunktes.** Schon oben wurde angedeutet, daß sich der Horizont bei Erhöhung des Standpunktes erweitere, und diese in allen Gegenden der Erde zu machende Erfahrung spricht auch zu gunsten der Kugelgestalt derselben. War in *Fig. 24* die Kreislinie *cd* der Horizont für ein Auge in *a*, so muß von dem Punkte *b* aus der Blick bis zur Kreislinie *ef* reichen, der Horizont sich also bedeutend erweitert haben. Könnten wir unsern Standpunkt hoch genug wählen, so würden wir allmählich eine ganze Hälfte der Erdkugel überschauen können, doch dies genau nur in unendlicher Entfernung vermögen, wenn unsere Gesichtslinien, wie die in *Fig. 24* durch die Endpunkte des Erddurchmessers *gh* gezogenen Tangenten, mit einander parallel liefen. Von dem Monde aus würde daher noch nicht die Hälfte der Erdkugel übersehen werden können, sondern der Durchmesser des von da aus geschauten Horizontes nur 1335 deutsche Meilen betragen, während der ganze Erddurchmesser, wie wir später lernen werden, 1720 deutsche Meilen enthält.

Wenn aber auch mit wachsender Höhe des Standpunktes die w a h r e Größe des Horizontes fortwährend zunimmt, so wird doch die s c h e i n b a r e Größe desselben, d. h. der Gesichtswinkel, welchen zwei vom Auge des Beobachters nach entgegengesetzten Punkten des Horizontes gehende Gesichtslinien bilden, k l e i n e r, wie die Vergleichung der Gesichtswinkel bei *a* und *b* in der *Fig. 24* erkennen läßt. Vom Monde aus betrüge der Gesichtswinkel nur noch 2°; in unendlicher Entfernung 0°, d. h. die Erde erschiene wie ein mathematischer Punkt, wenn sie überhaupt zu sehen wäre.

Mit Hilfe eines einfachen geometrischen Satzes läßt sich leicht die Größe des Horizontes für verschiedene Höhen berechnen.

Es ist nämlich, *Fig. 24:*

$$\triangle\, aoc \backsim \triangle\, acn$$

$$\text{denn: } \angle\, aoc = \angle\, acn$$

$$\angle\, aco = \angle\, anc$$

$$\text{und } \angle\, cao = \angle\, can$$

$$oa : ac = ac : oa + on$$

$$\text{mithin} \quad ac^2 = oa \,.\, (oa + on).$$

Es ist also ac, d. h. der Halbmesser des überschauten Horizontes, die mittlere geometrische Proportionale zwischen der Höhe des Beobachters, oa, und dieser Höhe + dem Erddurchmesser, $oa + on$.

Wäre also z. B. die Höhe $oa = 12000' = \frac{1}{2}$ d. Ml. und der Erddurchmesser $= 1720$ d. Ml. bekannt, so ist

$$ac^2 = \tfrac{1}{2} \,.\, (\tfrac{1}{2} + 1720) \text{ d. Mln.}$$

$$= \tfrac{1}{4} + 860 \quad »$$

$$= 860{,}25 \quad »$$

$$\text{folglich } ac = \sqrt[2]{860{,}25} = 29{,}33 \text{ d. Mln.}$$

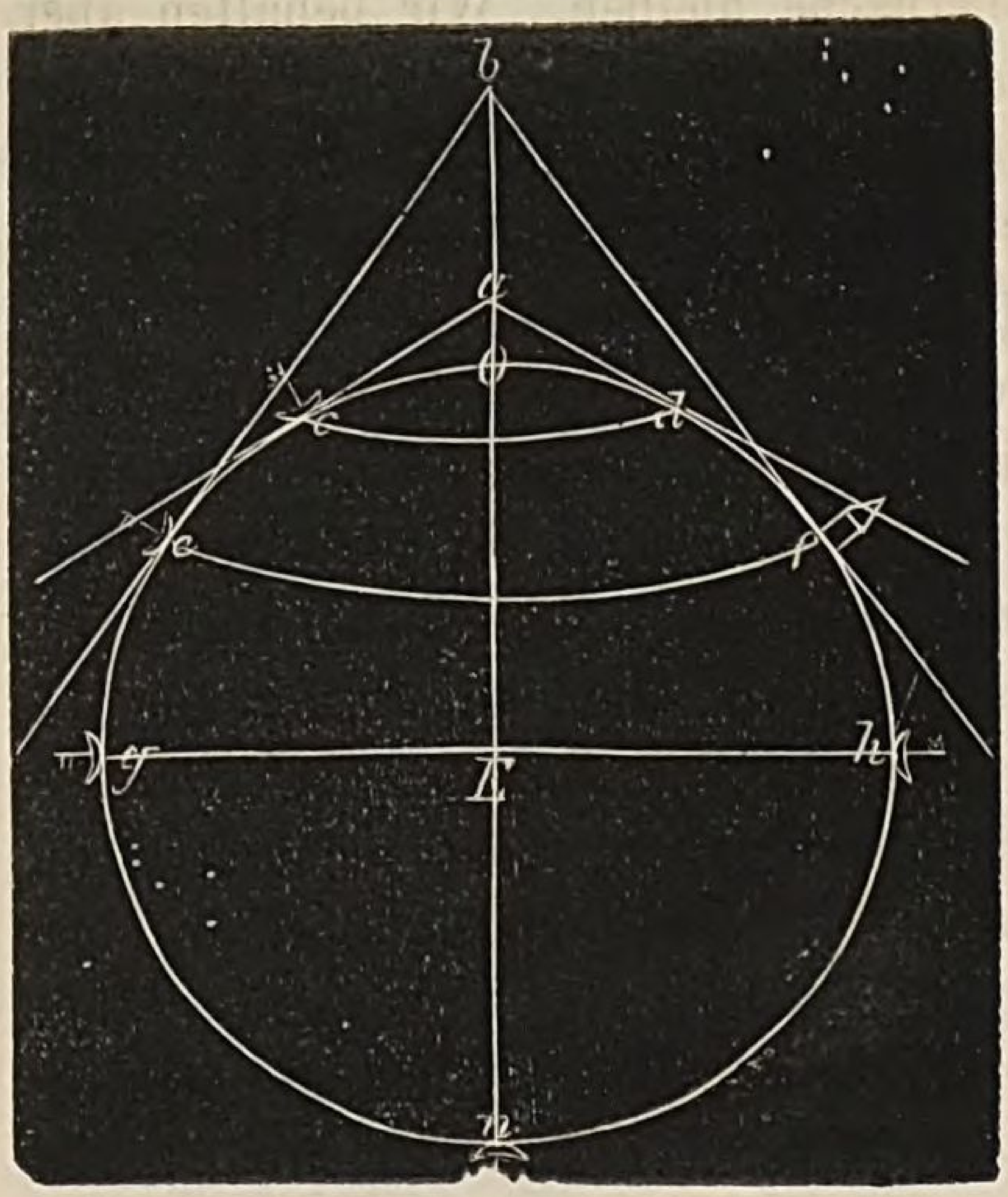
Die folgende Tabelle giebt den Halbmesser des Horizontes, sowie den Gesichtswinkel, unter welchem derselbe dem Auge erscheint, für einige Höhen an. *(Littrow.)*

Höhe in Fußen.	Halbmesser des Horizontes in d. Mln.	Gesichtswinkel.	Höhe in Fußen.	Halbmesser des Horizontes in d. Mln.	Gesichtswinkel.
10	0,85	89° 56′	1000	8,67	89° 25′
20	1,23	89 55	2000	12,26	89 10
30	1,51	89 54	3000	15,02	89 00
40	1,74	89 53	4000	17,34	88 50
50	1,94	89 52	5000	19,39	88 42
100	2,74	89 49	10000	27,42	88 10
200	3,88	89 44	15000	33,59	87 45
300	4,75	89 41	20000	38,78	87 24
400	5,48	89 38	25000	43,36	87 6
500	6,13	89 35			

Daß die Größe des Durchmessers der Erde oder eines Himmelskörpers überhaupt einen Einfluß auf die Größe des von einer bestimmten Höhe aus überschauten Horizontes übt, geht aus dem vorstehenden geometrischen Satze hervor. Wie sich nach demselben die Größe des Horizontes bei bekannter Größe des Durchmessers der Erde bestimmen läßt, so kann auch dieser gefunden werden, wenn der Halbmesser des Horizontes für eine bekannte Höhe gegeben ist. Es hat aber wegen der Refraction der Atmosphäre große Schwierigkeiten, die wahre Größe des Halbmessers der überschauten Fläche genau zu bestimmen, zumal diese Beobachtungen nahe am Horizonte angestellt werden müssen, wo bekanntlich die Refraction am bedeutendsten ist. Darum ermangeln diese Beobachtungen gewöhnlich der nöthigen Genauigkeit, um daraus die Größe des Erddurchmessers mit Sicherheit ableiten zu können.

3. **Allmähliches Erscheinen und Verschwinden der Gegenstände.** Stehen wir am Ufer des Meeres, und es erscheint fern am Horizonte ein Schiff, so erblicken wir dasselbe nie ganz, sondern es werden uns zuerst nur die obersten Theile desselben, die Masten und Segel, sichtbar, und erst bei größerer Annäherung tritt das ganze Schiff in unsern Horizont. Es sieht aus, als käme das Schiff zu uns herauf. Wenn, umgekehrt, ein Schiff sich von uns entfernt, so verschwinden am Horizonte zuerst die unteren und zuletzt auch die höchsten Theile desselben: es sinkt allmählich unter den Horizont. Diese Erfahrung wird an den Ufern aller Meere und ebenso auf offener See gemacht. Desgleichen tauchen von fernen Inseln bei Annäherung an dieselben zuerst die höchsten Theile auf, während bei Entfernung von ihnen zuerst die niedrigsten Theile derselben sich den Blicken entziehen. Es kann also auch die Oberfläche des Meeres keine ebene Fläche sein, sondern sie muß überall und nach allen Seiten hin gekrümmt sein. Im ebenen Lande zeigen sich bei Reisen ähnliche Erscheinungen; eine ferne Stadt z. B. tritt zuerst mit ihren Thürmen in den Horizont. Diese Erscheinungen wären unmöglich, wenn die Erdoberfläche eine Scheibe bildete; denn alsdann müßte ein ferner Gegenstand, sobald er am Horizonte sichtbar würde, ganz, in allen seinen Theilen, wenn auch unter noch so kleinem Winkel, erscheinen. Keine Annahme erklärt die Sache einfacher und natürlicher, als die, daß die ganze Erdoberfläche, Land und Wasser, eine nach allen Seiten hin gekrümmte Fläche ist.

Fig. 25.



Veranschaulichung. *Fig. 25* möge zur Veranschaulichung des Gesagten dienen.

Von dem Punkte *a* aus würde ein Schiff in *c* noch ganz gesehen werden können, weil es in dem Horizonte von *a* liegt. In *e* dagegen würde der untere Theil des Schiffes bereits unsichtbar und nur die Spitze des Mastes sichtbar, von dem Standpunkte *b* aus indessen noch das ganze Schiff in Sicht sein. Von dem Thurme in *f* würde von *a* aus ebenfalls nur die Spitze gesehen werden können.

Wenn aber die Erde eine Kugel ist, so muß das Schiff auch die Lagen in *g*, *n* und *h* annehmen können, und nach der Zeichnung sollte man meinen, es könne in dieser Lage unmöglich an der Erde bleiben, sondern müsse von ihr wegfallen. So erscheint es freilich, ist aber nicht so. Die Erde nämlich besitzt eine eigenthümliche Kraft, die z. B. einen in die Höhe geworfenen Stein oder einen andern Körper, den man seiner Unterstützung beraubt, zwingt, zur Erde

herabzufallen. Diese Kraft heißt die Anziehungs- oder Attractionskraft. Sie wirkt nach bestimmten Gesetzen, die wir später näher kennen lernen werden, und stets so, als hätte sie im Mittelpunkte der Erde ihren Sitz, weshalb auch ein freifallender Körper stets eine Richtung verfolgt, die verlängert nach dem Mittelpunkte der Erde geht. Diese Kraft ist es, die alle Dinge auf der Erde erhält und sie hindert, sich von ihr zu entfernen. Darum stehen Menschen in der natürlichen Stellung, Schiffe, Gebäude u. s. w. senkrecht auf der Oberfläche der Erde. Dabei kann es aber nicht fehlen, daß Menschen, die an entgegengesetzten Punkten der Erde, wie in *o* und *n*, oder *g* und *h* wohnen, einander die Füße zukehren. Man nennt sie deshalb auch Gegenfüßler oder Antipoden, und nach der Zeichnung zu urtheilen, müßten die Bewohner in *n* den Himmel unter sich haben. Weit gefehlt! Wenn wir auf der Erde reisen, so verändern wir wegen der Krümmung der Erdoberfläche, uns unbewußt, unsere Stellung zu unserem ersten Horizonte, indem wir überall senkrecht auf der Erdoberfläche bleiben. Wir behalten aber stets, wegen der genannten Anziehungskraft, die Erde unter unsern Füßen, und da wir das, was unter unsern Füßen liegt, unten, und das über unserm Haupte Liegende oben nennen, so muß auch in *g*, *n* und *h* der Himmel so gut über uns liegen, wie in *o* und auf allen andern Punkten der Erde.

4. **Ferne Gegenstände sinken zu früh unter den Horizont.** Ein Gegenstand ist dann noch für das Auge sichtbar, wenn er unter einem Gesichtswinkel (S. 74) von einer Bogenminute erscheint; wird dieser Winkel kleiner, so wird der Gegenstand in den meisten Fällen unsichtbar. Nun erscheint aber ein Gegenstand unter einem Gesichtswinkel von 1 Minute, wenn die Entfernung des Auges von ihm etwa das 3600fache seines wahren Durchmessers ist. Der *Pic von Teneriffa*, der etwa $^1/_2$ d. Ml. hoch ist, müßte darum, wenn nicht etwa die unvollkommene Durchsichtigkeit der Atmosphäre es verhinderte, noch in einer Entfernung von $3600 \times {}^1/_2$ Ml. $=$ 1800 Mln. gesehen werden können. Allein auch in den stärksten Fernröhren verschwindet dieser Berg vollständig in einer Entfernung von 29 d. Mln. selbst bei der klarsten Luft. Der *Mont blanc*, $^5/_8$ Mln. hoch, müßte $3600 \times {}^5/_8$ Mln. $=$ 2250 Mln. weit gesehen werden können; er erscheint aber erst, wenn man sich ihm bis auf etwa 33 d. Mln. genähert, und verschwindet, wenn man sich von ihm um diese Strecke entfernt hat.

Dieses zu frühe Verschwinden der Gegenstände wird in allen Gegenden der Erde und nach allen Himmelsgegenden hin wahrgenommen, und es findet seine vollständige Erklärung, wenn die Erdoberfläche nach allen Seiten hin gekrümmt, und darum die Erde eine Kugel ist. Es mag indessen nicht unerwähnt bleiben, daß eigenthümliche Beschaffenheit der Luft die Grenzen der Sichtbarkeit eines Gegenstandes mannigfach verändern kann.

5. **Man hat die Erde umschifft.** Wenn die Erde eine Kugel ist, so muß sie sich auch umschiffen lassen. Dieser Gedanke leitete schon *Columbus*, und er zweifelte nicht an der Möglichkeit, stets nach W. fahrend, die Ost-

küsten Asiens, das durch seine werthvollen Produkte den Europäern so wichtige Ostindien, erreichen zu können. Er fand Amerika (Westindien). Nach ihm machte *Ferdinand Magelhaen* von 1519—1522 die erste Reise um die Welt. Er fuhr von Europas Westküste beständig nach W., änderte die Richtung nur, wenn das Land ihn dazu zwang, und sein Schiff*) gelangte nach 3 Jahren wieder nach Europa zurück. Nach dieser Zeit sind solche Weltumseglungen bis in die neueste Zeit hinein nach den verschiedensten Richtungen hin wiederholt worden, und stets gelangte man, ohne umgewandt zu haben, von der entgegengesetzten Richtung, als nach welcher man vom Orte der Abfahrt ausgefahren war, an diesem Orte wieder an. Dies ist nur möglich, wenn die Erde nach allen jenen Richtungen eine gekrümmte Oberfläche hat, d. h. wenn die Erde ein kugelförmiger Körper ist. Hierfür sprechen ferner

6. **Reisen in der Richtung des Meridians.** Reiset man in der Richtung des Meridians genau nach Norden, so nimmt man, den gestirnten Himmel betrachtend, mancherlei Veränderungen in der Lage der von den Sternen durchlaufenen Tagkreise zum Horizonte wahr. Es hebt sich nämlich der Nordpol des Himmels höher und höher über den Horizont empor. Wäre man z. B. von Berlin bis Ystadt, einer Stadt des südlichen Schwedens, gereiset, so würde die Polhöhe sich um 3^0, bis auf 55$\frac{1}{2}$^{0}, vergrößert haben. Sterne, welche in Berlin gerade durch das Zenith gingen, stehen bei ihrer oberen Culmination nun 3^0 südlich von demselben; Sterne, die am ersteren Orte ihre untere Culmination bis 3^0 unter dem Horizonte hatten, sind zu Circumpolarsternen geworden, während in S. andere Sterne, die früher noch aufgingen, nicht mehr über den Horizont treten, sondern ganz unsichtbar bleiben.

Reiset man dagegen von Berlin nach S., so treten entgegengesetzte Verhältnisse ein. Der Nordpol sinkt mehr und mehr hinab; die Zahl der Circumpolarsterne am nördlichen Himmel vermindert sich; die Aequatorhöhe hingegen wächst, und Sterne, die früher am südlichen Himmel nie aufgingen, steigen über den Horizont herauf. Wäre man von Berlin bis nach Passau in Baiern gekommen, so würde die Polhöhe nur noch etwa 48$\frac{1}{2}$^{0}, und in Palermo auf Sicilien gar nur 38^0 betragen. Aehnliche Erfahrungen macht man, wenn man von irgend einem Orte der Erde nach N. oder S. reiset, und es sind dieselben nur erklärlich, wenn die Erdoberfläche wenigstens in der Richtung der Meridiane gekrümmt ist. Denn wäre dieselbe in der Richtung der Meridiane nicht gekrümmt, so könnten weder die Pol- noch die Aequatorhöhe, noch auch die Zahl der Circumpolarsterne sich ändern, da ja der Horizont stets dieselbe Lage beibehielte. Ist dagegen die Oberfläche der Erde in der Richtung der Meridiane kugelförmig gerundet, so muß die oben beschriebene Veränderung in dem Anblick des Himmels eintreten. Wandern wir nämlich auf der Erdkugel von Ort zu Ort, so kehren wir dabei wegen der derselben innewohnenden Anziehungs-

*) Er selbst ward am 26. April 1521 auf einer der Philippinen in einem Gefechte getödtet.

kraft unsere Füße beständig dem Erdmittelpunkte zu. Unsere Scheitellinien bleiben also nicht parallel, sondern treffen im Mittelpunkte der Erde zusammen und machen dort je nach unserer Ortsveränderung verschiedene Winkel mit einander. Diese Winkel werden gemessen durch den Bogen am Himmel, welchen unser Zenith gegen die Fixsterne fortschreitet. Die Erfahrung lehrt, daß, wenn wir ungefähr 15 d. Mln. auf einem Meridian fortschreiten, die Zenithveränderung 1° beträgt. Da wir aber zu unserm Horizonte stets senkrecht bleiben, so muß auch unser Horizont seine Lage um 1° geändert haben. Gehen wir nach Norden, so sinkt nach einer Wanderung von c. 15 d. Mln. die Nordseite unseres Horizontes 1° herab, während das Südende sich 1° hebt; die Polhöhe muß also ebenso viel größer, die Aequatorhöhe kleiner werden. Bei Reisen nach Süden ändern auch das Zenith und der Horizont mit je 15 d. Mln. ihre Lage um 1°, und die Polhöhe wird ebenso viel kleiner, die Aequatorhöhe aber größer. So ist also die oben beschriebene Erfahrung leicht erklärlich. Man kann sich das Gesagte leicht veranschaulichen, wenn man eine kleine Pappscheibe, die unsern Horizont darstellen soll, und in deren Mittelpunkt etwa eine Nadel senkrecht befestigt ist, die Richtung der Vertikallinie bezeichnend, auf dem Meridian eines Erdglobus so fortbewegt, daß sie denselben mit ihrem Mittelpunkte berührt.

Daß die beschriebenen Erfahrungen ein Mittel abgeben, die Größe des Erdumfangs zu messen, werden wir später genauer betrachten.

7. **Reisen in der Richtung der Parallelkreise.** Wenn man sich von einem beliebigen Orte der Erde aus, nachdem man eine gute Uhr nach der Zeit dieses Ortes richtig gestellt hat, zu Oertern begiebt, die nach O. liegen, so findet man, daß die mitgenommene Uhr mit richtig gehenden Uhren der neuen Oerter nicht übereinstimmt, sondern gegen dieselben nachgeht, und dieser Zeitunterschied ist um so bedeutender, je weiter der neue Ort von dem ersteren nach O. liegt. Wäre man z. B. auf einer Reise von Berlin bis Warschau gekommen, so würde die Uhr schon eine Differenz von nahe einer halben Stunde zeigen; in Saratow an der Wolga hingegen würde der Unterschied schon auf mehr denn 2 Std. angewachsen sein, um so viel also die mitgenommene Uhr gegen die in Saratow nach-, diese gegen erstere also vorgehen. Die entgegengesetzten Erfahrungen macht man, wenn man nach W. reiset; es geht nämlich die mitgenommene Uhr gegen die Uhren der nach W. gelegenen Oerter vor, und dies wieder um so mehr, je größer die Entfernung nach W. ist. In Amsterdam z. B. zeigen die Uhren gegen Berliner Uhren schon eine Differenz von mehr als ½ Std., in London von beinahe 1 Std., in Dublin schon von nahe 1½ Std.; um so viel geht die Berliner Uhr gegen die Uhren der genannten Oerter vor. Ein solcher Zeitunterschied wird aber nicht nur auf Reisen, sondern auch dann wahrgenommen, wenn etwa ein Ereignis am Himmel, z. B. eine Mondfinsternis, von verschiedenen Oertern aus zugleich beobachtet wird. An allen mehr nach O. gelegenen Oertern tritt das Phänomen zu einer früheren, an den mehr nach W. gelegenen zu einer späteren Tagesstunde (nach den

Uhren dieser Oerter) ein. Wenn aber die Uhren aller mehr nach O. gelegenen Oerter vorgehen, so setzt dies doch unzweifelhaft voraus, daß an allen diesen Oertern die Sonne früher den Meridian erreichen muß,*) als an den mehr nach W. gelegenen. Unmöglich könnte dies aber stattfinden, wenn die Erde sich als eine Ebene von W. nach O. ausdehnte; denn in diesem Falle müßte die Sonne für alle Bewohner der Erde in demselben Momente aufgehen, untergehen und culminiren, und ein Unterschied der Zeiten, wie er nach den angedeuteten Erfahrungen besteht, könnte nicht stattfinden. Die Erde kann also auch von O. nach W. nicht eben sein; es wird aber die Sache vollständig erklärlich, wenn die Erde auch von W. nach O. kugelförmig gekrümmt ist. Denn alsdann kann die Sonne nicht die ganze Oberfläche der Erde auf einmal bescheinen, sondern sie muß bei ihrem scheinbaren Gange um die Erde von O. nach W. allen östlicher liegenden Oertern früher leuchten, als den westlicheren, und so den in Rede stehenden Zeitunterschied hervorrufen.

Da dieser Unterschied erfahrungsmäßig in allen Gegenden der Erde wahrgenommen wird, so muß die ganze Erdoberfläche von W. nach O. gekrümmt sein, und da ferner der beobachtete Zeitunterschied der Entfernung der Oerter proportional, d. h. für Oerter in 2, 3, 4 . . . facher (in Graden ausgedrückter) Entfernung auch 2, 3, 4 . . . mal so groß ist, so muß die Krümmung der Erdoberfläche eine (ziemlich) regelmäßige sein.

Für 1^0 eines Parallelkreises beträgt die Zeitdifferenz 4 Min. Um eine solche für den Aequator zu haben, muß man 15. d. Mln. nach O. oder W. reisen; auf dem Parallelkreise von Berlin genügen schon c. 9, für den von Petersburg c. $7\frac{1}{2}$ d. Mln. u. s. w., um jenen Zeitunterschied hervorzurufen, und noch näher nach den Polen zu wird die Meilenzahl immer kleiner, wie sie es werden muß, wenn bei kugelförmiger Erde die Parallelkreise und mithin auch ihre Grade sich nach den Polen hin verkleinern.

Reiset man nicht genau nach O. oder W., sondern nach den Nebenhimmelsgegenden, so combiniren sich die unter 6 und 7 genannten Erscheinungen: es tritt Veränderung in der Pol- und Aequatorhöhe, sowie in der Zeit ein, wie es der Kugelgestalt der Erde gemäß ist.

8. **Die Mondfinsternisse.** Auch die zur Zeit des Vollmondes zuweilen eintretenden Verfinsterungen dieses Himmelskörpers, die Mondfinsternisse, sprechen für die Kugelgestalt der Erde. Man sieht nämlich bei solchen Finsternissen eine dunkle, stets kreisförmig begrenzte Fläche von links nach rechts, oder von O. nach W. langsam über den Vollmond hingehen und ihn entweder theilweise, oder auch wohl ganz verfinstern. In einem der folgenden Kapitel werden wir die Entstehung dieser Erscheinung näher kennen lernen und erfahren, daß diese kreisförmig begrenzte dunkle Fläche nichts anderes ist, als

*) Früher auf und unter geht die Sonne mit Bestimmtheit nur an Oertern, die genau nach O., also auf demselben Parallelkreise liegen. Warum wohl nicht allgemein für Oerter, die überhaupt östlicher liegen?

der Schatten der Erde, durch welchen der Mond in seiner Bahn um die Erde zuweilen gehen muß. Nun ist aber die Gestalt eines Körpers stets maßgebend für die Gestalt seines Schattens, und es kann daher umgekehrt aus dieser letzteren auf die Gestalt des Körpers geschlossen werden. Einen kreisförmigen Schatten können nun zwar Körper von sehr verschiedener Form werfen, z. B. eine Scheibe, eine Kugel, ein Cylinder u. dgl., allein diese letzteren nicht in allen, sondern nur in ganz bestimmten Lagen zum leuchtenden Körper. Bei Mondfinsternissen aber, die zu den verschiedensten Zeiten, und darum in den verschiedensten Stellungen der Erde zur Sonne stattgefunden haben, ist die Gestalt des den Mond verdunkelnden Erdschattens stets von derselben, kreisförmig begrenzten Gestalt gewesen. Es kann aber nur eine Kugel in allen Lagen zum Lichte einen kreisförmigen Schatten hervorbringen, und daher sprechen auch die Mondfinsternisse für die Kugelgestalt der Erde. Die Beweiskraft dieser Finsternisse wird noch überzeugender, wenn wir bedenken, daß die Erde, wie wir weiter unten erfahren werden, sich um ihre Achse dreht, während sie durch den Erdschatten hindurchgeht, wozu, beiläufig gesagt, oft mehr als 4 Std. erforderlich sind. Wäre die Erde keine Kugel, ihr Schatten müßte es verrathen.

9. **Schluß nach der Analogie.** Auch der Himmel mit seinen Sternen vermag Zeugnis über die Gestalt der Erde abzulegen. Es erscheinen nämlich Sonne und Mond unsern bloßen Augen als kreisrunde Scheiben; durch das Fernrohr betrachtet, geben sie sich aber an später noch mitzutheilenden Kennzeichen entschieden als Kugeln zu erkennen, und nicht nur sie, sondern auch die größeren, einer näheren Beobachtung zugänglichen Planeten stellen sich deutlich als Kugeln dar. Da nun unsere Erde auch ein Planet ist, alle übrigen uns näher bekannten Planeten aber kugelförmige Körper sind; so wird außer andern Eigenschaften die Erde auch höchst wahrscheinlich dieselbe Gestalt mit diesen gemein haben. Es wird hier also der Schluß nach der Analogie erlaubt sein; denn was von allen bekannten Körpern einer Gattung gilt, das wird auch wohl für einen einzelnen Körper derselben Gattung Giltigkeit haben.

10. **Innere Gründe. Attraction.** Noch überzeugender sprechen auch innere Gründe dafür, daß die Erde eine Kugel sein müsse, und zwar die ihr inwohnende Anziehungskraft. Der Regentropfen, der Tropfen Thau u. s. w. zeigen bekanntlich die Kugelgestalt. Nach den Gesetzen der Anziehung müssen die Theile einer Flüssigkeit, sich selbst überlassen, eine kugelförmige Gestalt annehmen, weil bei dieser Gestalt das Gleichgewicht zwischen den einzelnen Theilen der Flüssigkeit hergestellt wird. Man findet darum die Kugelgestalt so außerordentlich häufig in der Natur, daß man sie wohl die Lieblingsform der Natur genannt hat. Wenn nun die Erde — und außerordentlich viele Gründe sprechen dafür — zur Zeit ihrer Bildung in einem mehr oder weniger flüssigen Zustande sich befunden hat, so muß auch sie, wie ein Tropfen im Weltenraume schwebend, nach den in ihr waltenden Attractionsgesetzen die Kugelform angenommen haben.

11. **Resultat.** Auf diese Weise vereinigen sich alle angeführten Thatsachen, außer Zweifel zu setzen, daß die Erde nicht eine Scheibe, sondern ein kugelförmiger Körper ist. Ob sie aber eine vollkommene Kugel sei, und wenn nicht, welche Abweichungen von der Kugelgestalt sie habe, vermögen diese Thatsachen, die nicht selten fälschlich Beweise für die Kugelgestalt der Erde genannt werden, nicht darzuthun. Strenge Beweise können nur durch die genausten Beobachtungen und scharfe Messungen, sowie durch darauf gegründete Rechnungen geliefert werden. Einiges hierüber wird später mitgetheilt werden.

Haben wir im Vorstehenden die Erde als eine Kugel kennen gelernt, so ist wohl kaum noch nöthig hinzuzufügen, daß diese Kugel nicht, wie die Alten anzunehmen geneigt waren, eine Unterstützung habe: die Erde ist eine frei im Weltenraume schwebende Kugel. Haben wir doch an Sonne, Mond und Sternen zahlreiche Analogien dafür; denn bei diesen Himmelskörpern ist von einer Unterstützung durchaus nichts bekannt. Wenn wir nur im stande wären, uns weit genug von der Erde zu entfernen, so würden wir sie ebenfalls, wie jene, als Stern am Himmel glänzen sehen. Auf der Erde selbst uns befindend, sind wir ihr zu nahe, und darum erscheint sie uns so groß, daß sie die ganze Hälfte des Himmels verdeckt. Vom Monde dagegen gesehen, würde sie uns als eine große, kreisrunde Scheibe erscheinen, die etwa den 4fachen scheinbaren Durchmesser des Mondes hätte, und wir würden uns durch unmittelbaren Anblick von ihrer kugelförmigen Gestalt überzeugen können. Zugleich aber würden wir auch im stande sein wahrzunehmen, ob die Erde, wie Jahrtausende hindurch geglaubt worden, still steht, oder Bewegungen hat, denen ähnlich, welche die ihr verwandten Planeten zeigen. Da uns indessen ein solches unmittelbares Anschauen versagt ist, so müssen wir uns auf anderem Wege Gewißheit über die Sache zu verschaffen suchen.

Zweites Kapitel.

Die Erde hat eine Achsendrehung.

Die ganze Himmelskugel mit allen ihren Sternen scheint sich täglich von O. nach W. um die sogenannte Himmels- oder Weltachse und auf diese Weise um die Erde herumzuschwingen. Im Alterthume blieb man auch hier bei dem Scheine stehen und nahm ihn für den wahren Sachverhalt. Da man über die Entfernung der einzelnen Sterne von der Erde wegen Mangels an den nöthigen Beobachtungsmitteln fast vollständig im Dunkeln war, so versetzte man wenigstens alle Fixsterne in gleiche Entfernung von der Erde an die Fläche eines kristallenen Gewölbes und ließ sie mit diesem von einer über den Sternen gedachten, unbekannten Kraft täglich von O. nach W. um die Erde herumführen. Diese Anschauungsweise der Alten ging auch auf die späteren Völker Europas

über und erhielt sich mehr oder weniger allgemein bis zum Anfange des 16. Jahrhunderts, in welchem über die Gestalt der Erde bereits richtigere Ansichten verbreitet und die Kugelgestalt derselben als die wahre erkannt worden war. Durch die Jahrtausende, während welcher jene Ansicht herrschend gewesen, hatte sie eine gewisse Unverletzlichkeit erhalten, und dies, sowie religiöse Vorurtheile, namentlich eigenthümlich ausgelegte Stellen der Bibel, trugen nicht wenig dazu bei, einer richtigeren Anschauungsweise hindernd in den Weg zu treten, so daß Stimmen Einzelner, wonach nämlich die Erde sich bewege und der Himmel ruhe, selbst bei besseren Köpfen ihre Wirkung verfehlten. Man konnte sich nun einmal von der Vorstellung nicht losmachen, die Erde, die man als den Mittelpunkt der Schöpfung anzusehen sich gewöhnt hatte, als ruhend, und den Himmel als sich um die Erde bewegend anzusehen, zumal von einer Bewegung der Erde doch gar nichts verspürt wird.

Und doch zeigt der Himmel selbst an Körpern, die der Erde verwandt sind, nämlich an manchen Planeten, und sogar an der Sonne, Achsendrehungen, freilich nicht dem unbewaffneten Auge, sondern nur dem durch das Fernrohr geschärften. Mit der Entdeckung dieses werthvollen Instrumentes im Anfange des 17. Jahrhunderts mehrte sich deshalb auch die Zahl derjenigen, welche die Rotation der Erde wenigstens für möglich hielten. Es giebt aber auch negative und positive Beweise, welche die Rotation der Erde für den Vorurtheilsfreien außer Zweifel setzen. Diese Beweise sollen im Folgenden gegeben werden.

I. Negative Beweise für die Achsendrehung der Erde.

Als negative Beweise für die Achsendrehung der Erde sind die folgenden anzusehen.

1. **Die Art der Bewegung der Sterne.** Bei dem täglichen Umschwunge des Himmels werden von den verschiedenen Sternen Kreise beschrieben, die von den Polen bis zum Aequator fortwährend an Größe zunehmen und unter einander parallel laufen, und alle diese Kreise werden von den Fixsternen mit vollkommen gleichmäßiger Geschwindigkeit in 24 Stdn. durchlaufen. Ständen alle Sterne, wie die Alten sich vorstellten, an der Fläche eines kugelförmigen Gewölbes, so müßte diese Erscheinung unbedingt stattfinden, wenn anders eine Kraft vorhanden wäre, die diese Kugelfläche um die Erde herumführte. Wir wissen aber, daß die Sterne nur scheinbar an einer Kugelfläche stehen, in der Wirklichkeit aber eine sehr ungleiche Entfernung von der Erde haben. Jedenfalls muß es befremden, daß die so ungleich entfernten Weltkörper, die außerdem auch gewiß eine ebenso ungleiche wahre Größe besitzen, in der angegebenen Weise und genau in derselben Zeit um die Erde geführt werden sollten, und dies allein schon macht die Bewegung des

ganzen Himmels um die Erde außerordentlich unwahrscheinlich. Diese Unwahrscheinlichkeit wird aber noch vermehrt, wenn wir an

2. **die große Geschwindigkeit** denken, mit welcher die Mehrzahl der Sterne ihre Bahnen durchlaufen müßte, und dies einzig und allein, um die Erde in ihrer Ruhe nicht zu stören.

Der Mond, in einer Entfernung von mehr als 51000 g. Mln. von der Erde, müßte in seiner 326730 Mln. langen Bahn in jeder Minute 227 Mln., die Sonne, in einem Abstande von 20 mill. Mln. von der Erde, in jeder Minute 90000 Mln. zurücklegen. Mit dieser außerordentlichen Geschwindigkeit wäre aber die Grenze derselben noch lange nicht erreicht; denn die nächsten Fixsterne, die mindestens 4 bill. Mln. von der Erde abstehen, müßten in einer Minute den ungeheuern Weg von mehr denn 17400 mill. Meilen durchlaufen. Wie groß müßte die Geschwindigkeit erst für Sterne sein, die in Entfernungen von vielleicht tausenden von bill. Mln. von der Erde um diese kreisen sollten!

3. **Der Mangel einer bewegenden Kraft.** Wo eine Wirkung ist, da muß auch eine Ursache sein, und zwar muß die Ursache der Wirkung proportional sein. Die eben angegebene, außerordentlich schnelle Bewegung der Gestirne müßte auch eine ebenso außerordentliche Kraft voraussetzen. Wo aber sollte man nach der Art der Bewegung diese Kraft anders vermuthen, als in der Erde selber, weil ja um sie die Bewegung erfolgt und alle Sterne ihr dienstbar erscheinen. Oben haben wir bereits einer Kraft der Erde, der Anziehungskraft, Erwähnung gethan; sollte sie vielleicht die Bewegung aller Gestirne in der angegebenen Weise bewirken? Sollte diese Kraft so außerordentlich stark sein, daß das unzählige Heer der Sterne dadurch der Erde dienstbar werden müßte?

Diese Annahme kann Ansprüche auf Wahrscheinlichkeit nicht machen, namentlich dann nicht, wenn man an das Massenverhältnis der Erde und der ihr scheinbar gehorchenden Körper denkt. Von der Sonne wissen wir, daß ihre Masse die der Erde etwa 355000mal übertrifft, und vielleicht sind andere Fixsterne noch massenhafter. In der Körperwelt ist es aber vornehmlich die Masse, welche die Größe der Anziehung auf andere Körper bestimmt. In dieser Beziehung fällt der Vergleich der Erde mit den scheinbar um sie schwingenden Massen sehr zu ungunsten der Erde aus, was schon aus dem oben angegebenen Größenverhältnis zwischen Sonne und Erde hervorgeht.

Allein selbst die Möglichkeit der Wirkung der Erde auf die ihr so fernen Himmelskörper zugegeben, so ist doch

4. **die Art der Wirkung der Kraft** so, daß sie allen bekannten Gesetzen, nach welchen ähnliche Kräfte zwischen andern Körpern wirken, durchaus widerspricht. Es wäre jedenfalls unerhört, daß die Erde auf fernere Himmelskörper stärker wirken sollte als auf nähere, da doch die fernsten die größte Geschwindigkeit zu haben scheinen. Alle Beobachtungen anderer verwandter Kräfte zeigen dagegen eine Abnahme der Wirkung mit Zunahme der Entfernung nach bestimmten Gesetzen. Endlich aber macht auch der

5. **Mangel eines Mittelpunktes der Bewegung** die Bewegung der Sterne um die Erde unwahrscheinlich. Die scheinbaren Bewegungen aller Gestirne um die Erde sind Kreisbewegungen, und bei diesen hat man den Sitz der bewegenden Kraft in dem Mittelpunkte des Kreises zu suchen. Die Mittelpunkte der von den Sternen durchlaufenen Tagkreise fallen aber zum größten Theil gar nicht in die Erde, sondern außerhalb derselben an Stellen des Weltenraums, in welchen uns von Körpern, die jene Wirkung hervorbringen könnten, durchaus nichts bekannt ist, und so vereinigt sich auch dieser Umstand mit den früheren, die Achsendrehung des Himmels um die ruhend gedachte Erde als außerordentlich unwahrscheinlich erscheinen zu lassen. Alle bezeichneten Widersprüche fallen weg, wenn man die Sache umkehrt: wenn nämlich die Erde sich als um ihre Achse drehend und der Himmel mit seinen Gestirnen als feststehend angesehen wird. Außerdem wird dadurch die Sache viel einfacher, und es ist bekannt, daß die Natur durch einfache Mittel Großes hervorzubringen pflegt; zudem lassen sich die täglichen Bewegungen der Sterne vollkommen genügend erklären, wenn die Erde als rotirend angenommen wird.

II. Positive Beweise für die Achsendrehung der Erde.

Wenn wir in dem Obigen negative Beweise für die Rotation der Erde anführten, so fehlt es auch nicht an positiven Beweisen für dieselbe, und zwar sind zwei derselben zu nennen: A. die Gradmessungen und B. die Pendelversuche. Ehe wir jedoch speciell auf dieselben eingehen, erwägen wir noch Folgendes als

Vorbereitung.

1. **Verschiedene Arten des Beweises.** Die zunächst anzuführenden Beweise sind eigenthümlicher Art; deshalb mögen vor ihrer Anführung noch einige Bemerkungen über die Art derselben ihre Stelle finden.

Im allgemeinen hat man zwei Wege eingeschlagen, um namentlich in naturwissenschaftlichen Gegenständen zu allgemein giltigen Wahrheiten zu gelangen. Man geht nämlich einmal von Erfahrungen und Thatsachen aus, die auf dem Wege der Beobachtung gewonnen worden sind, stellt dieselben passend zusammen und sucht nun auf diesem empirischen Wege zu allgemeinen Sätzen, zu Gesetzen, zu gelangen. Dieser sich auf wirkliche Beobachtungen gründende Weg ist in der neuesten Zeit der in den Naturwissenschaften am meisten betretene und zugleich der natürlichste und überzeugendste, weil auf ihm den Dingen am wenigsten Gewalt angethan wird.

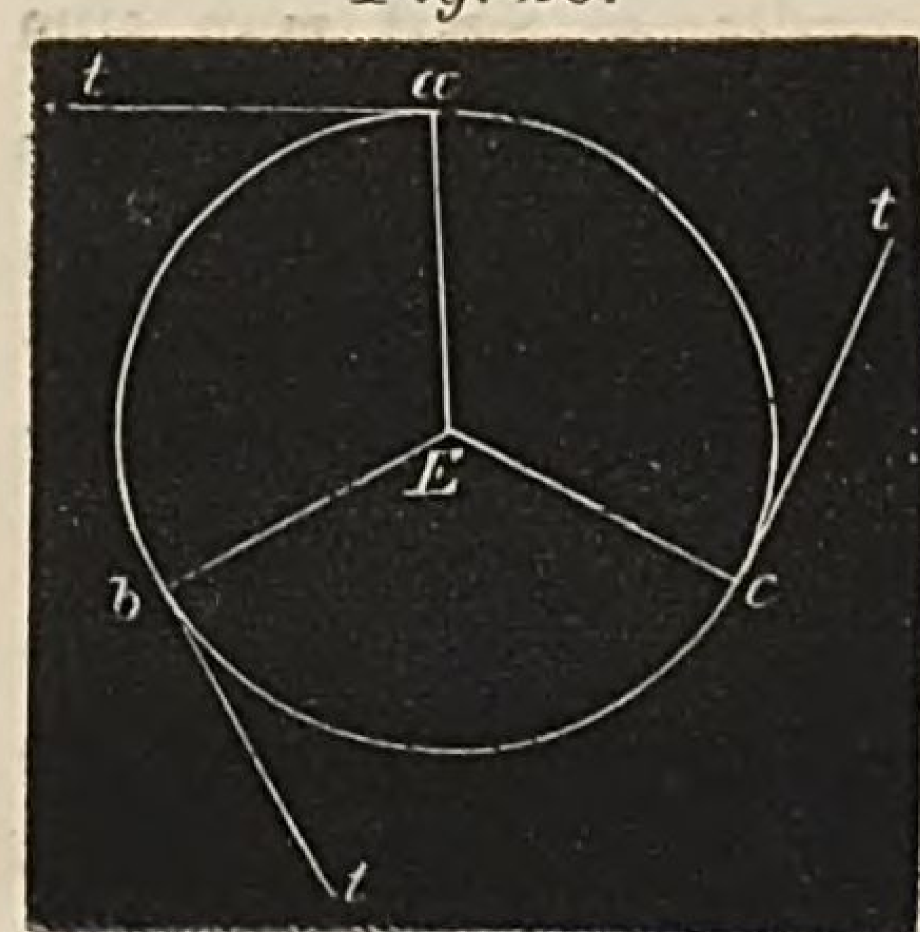
Zuweilen wird aber auch umgekehrt verfahren und dies dann, wenn die bekannten Thatsachen noch nicht in der Zahl und in der Art vorhanden sind, daß ein Gesetz sich unzweideutig ergiebt, aber doch nach Analogie mit andern verwandten Gegenständen ein solches als wahrscheinlich geltend geahnt wird.

Man nimmt alsdann den geahnten allgemeinen Satz als wirklich geltend, als Hypothese an, leitet daraus in richtiger Schlußfolge die Consequenzen ab und vergleicht mit diesen die bekannten und alle späteren Erfahrungen. Stimmen alle Erfahrungen mit der Hypothese überein, so wird dieselbe die gleiche überzeugende Kraft besitzen, als wenn sie als Endresultat auf dem oben angegebenen empirischen Wege gewonnen worden wäre. In der letzteren Weise ist man verfahren, um die Rotation der Erde außer Zweifel zu setzen: man nahm dieselbe als bestehend an und zog nun aus dieser Annahme die Folgerungen.

Auf den Gedankengang, den man hierbei verfolgt hat, wollen wir vorbereiten, indem wir an einige einfache Thatsachen erinnern, die jeder gewiß schon vielfach erfahren hat.

2. **Schwungkraft oder Centrifugalkraft.** Wenn eine Anzahl von Personen sich in einer Reihe aufstellt, sich dann anfaßt und nun in einem Kreise herumzuschwenken beginnt, so empfindet jede Person, mit Ausnahme der etwa in der Mitte stehenden, ein eigenthümliches Bestreben, sich von dem Mittelpunkte des durchlaufenen Kreises zu entfernen, und dem zu folgen sie dadurch entgegenwirken muß, daß sie die Hand des Nachbarn fester ergreift. Diese Kraft ist für jede Person um so größer, je rascher die Bewegung ist; am größten ist sie für die äußerste Person, weil diese den größten Kreis zu durchlaufen, und sich darum am geschwindesten zu bewegen hat. Wenn sie dieser Kraft folgt, indem sie die Hand des Nachbarn losläßt, so wird sie stets von dem Mittelpunkte des durchlaufenen Kreises in gerader Richtung, und zwar in der Tangente des durchlaufenen Kreises, seitlich fortgeschleudert. Man nennt darum diese Kraft die Centrifugalkraft, d. h. die den Mittelpunkt fliehende Kraft, oder auch die Schwungkraft. Folgte ein Körper, der den Kreis *E*, *Fig. 26*, durchläuft, der Schwungkraft in den Punkten *a*, *b*, *c* seiner Bahn, so würde er in den Tangenten *at*, *bt* u. *ct* seine Bewegung fortsetzen. — Die Schwungkraft ist es, welche den mit den Fingern gehaltenen Faden spannt, an dem man einen Körper im Kreise herumschwingt, und sie kann bei sehr rascher Schwingung so groß werden, daß sie die Schnur zerreißt. — Versetzt man ein cylindrisches Gefäß mit Wasser in eine drehende Bewegung, so hört die Oberfläche des letzteren sogleich auf horizontal zu sein; sie bildet bald einen Trichter, und bei genugsam gesteigerter Geschwindigkeit wird endlich alles Wasser hinausgeschleudert. — Streut man Sand auf eine Platte und setzt dann diese, anfangs langsam, in eine drehende Bewegung, so wird durch die Schwungkraft fast aller Sand von der Platte herabgeschleudert. Alle diese Thatsachen, von denen man sich durch einfache Versuche oder mit Hilfe einer Centrifugalmaschine leicht überzeugen kann, und die sich noch durch sehr zahlreiche andere vermehren ließen, zeigen die Wirkung dieser Kraft.

Fig. 26.



3. **Verhältnisse derselben bei einer rotirenden Kugel.** Eigenthümliche Verhältnisse treten ein, wenn der rotirende Körper eine Kugel ist. Jeder Punkt der Kugel mit alleiniger Ausnahme der in der Drehungsachse gelegenen Punkte beschreibt bei der Rotation einen Kreis, der um so größer ist, je weiter der betreffende Punkt von der Achse entfernt ist. Dadurch ist die Entstehung einer für verschiedene Punkte verschiedenen Schwungkraft bedingt, und zwar verhält sich dieselbe für zwei beliebige Punkte, wie die durchlaufenen Kreise, und da diese sich wie ihre Halbmesser verhalten, so muß bei einem Kreise von 2, 3, 4fachem Halbmasser auch eine 2, 3, 4fache Schwungkraft wirksam sein. Den größten Kreis der Kugel durchlaufen alle die Punkte, welche in der Mitte zwischen den beiden Polen liegen, und daraus folgt, daß diese Punkte das größte Bestreben haben müssen, sich von der Achse zu entfernen. Ist die rotirende Kugel aus einem Stoffe, dessen Theile so stark zusammenhangen, daß der Zusammenhang der Theile größer ist als die Schwungkraft, so kann der Körper seine Kugelgestalt nicht ändern. Wählt man aber einen Stoff, dessen Theile nur lose verbunden sind, so kann er die Kugelgestalt nicht beibehalten, sondern es muß eine Massenanhäufung zwischen den beiden Polen, dagegen eine Abplattung an diesen stattfinden, oder mit andern Worten: die Kugel muß die Gestalt eines Ellipsoids, d. h. eines Körpers annehmen, den man sich durch Rotation einer Ellipse um den kleinsten ihrer Durchmesser entstanden denken kann. Sehr gut läßt sich ein solcher Versuch mit einer Kugel aus weichem Ton anstellen. Setzt man eine solche auf eine Töpferscheibe, so nimmt man bei schneller Drehung die angedeutete Abplattung sehr deutlich wahr.

4. **Anwendung auf die Erde.** Wenn nun die Erde wirklich eine Rotation besitzt und zur Zeit, da sie dieselbe erhielt, in einem mehr oder weniger flüssigen Zustande sich befand, in dem sie fähig war, der Schwungkraft nachzugeben — und zahlreiche Thatsachen sprechen für die Richtigkeit dieser Annahme — so kann sie keine vollkommene Kugel geblieben sein, sondern sie muß nach Maßgabe der Schwungkraft an den Polen eine Abplattung und damit in den Aequatorialgegenden eine Massenanhäufung erfahren oder die Gestalt eines Ellipsoids angenommen haben. Wäre man im stande, dies als wirklich bestehend nachzuweisen, so wäre damit die Achsendrehung der Erde bewiesen.

Wie aber ist es möglich, sich zu vergewissern, daß die Erde eine abgeplattete Gestalt wirklich besitzt?

Die folgenden Betrachtungen werden zum Verständnis des zur Beantwortung dieser Frage eingeschlagenen Verfahrens dienen.

5. **Die Erde und die Himmelskugel sind als concentrische Kugeln zu betrachten.** Die Erde ist eine frei im Weltenraume schwebende Kugel. Dieser stellt sich uns aus optischen Gründen ebenfalls als eine Kugel dar, in deren Mittelpunkt die Erde zu stehen scheint.

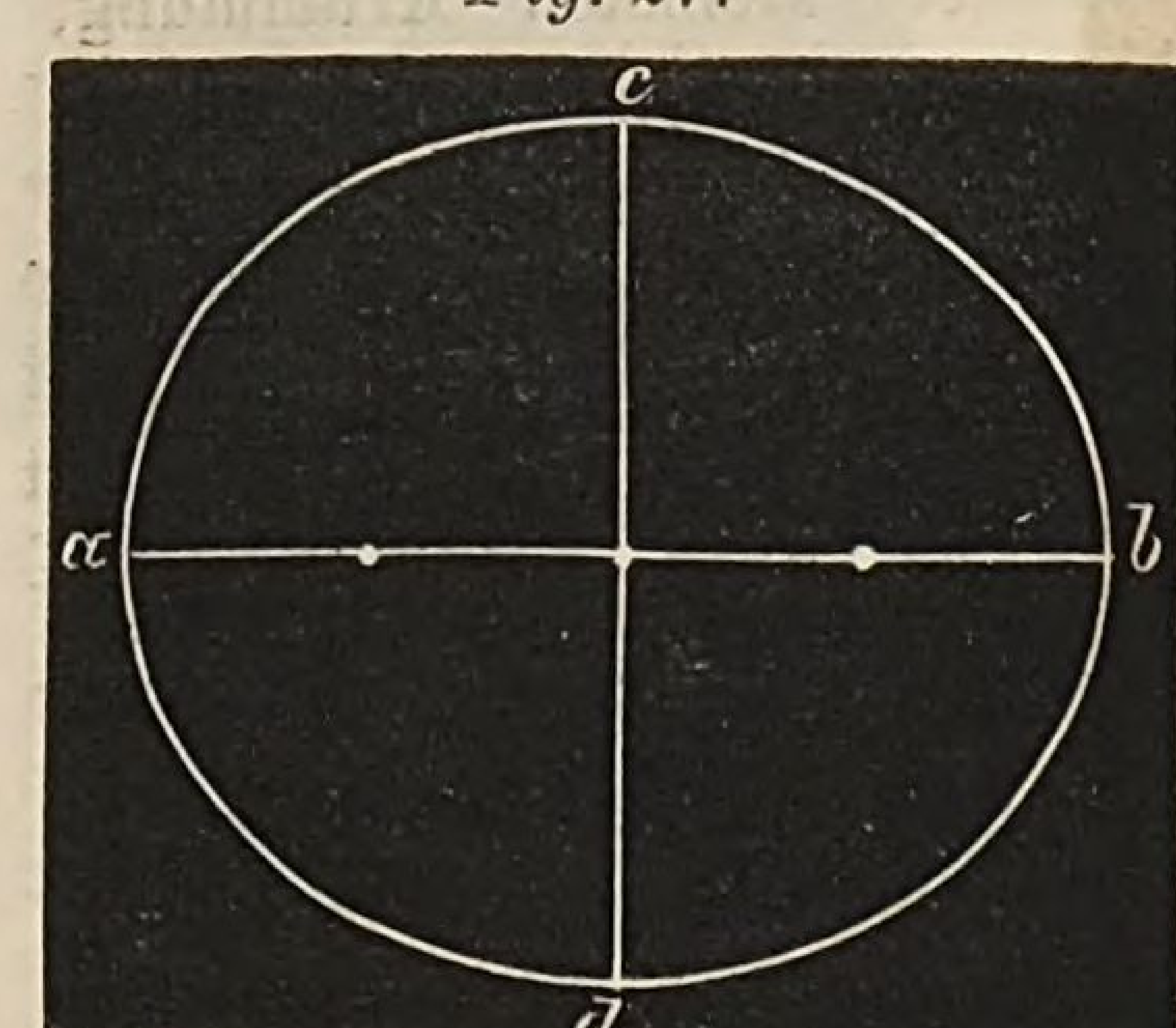
Wenn wir uns nämlich über die Entfernung der Dinge auf der Erdober-

fläche von uns ein Urtheil bilden wollen, so gelingt uns dies allmählich dadurch, daß wir die Lage des zu bestimmenden Dinges zu andern zwischen uns und ihm befindlichen Dingen in Beziehung setzen. Eine solche Beziehung fehlt uns aber, wenn wir versuchen, die unermeßliche Entfernung der Gestirne von uns abzuschätzen, und darum versetzen wir dieselben in gleiche Entfernung von uns und glauben sie an der Fläche einer Kugel zu erblicken, in deren Mittelpunkte die Erde steht. Auf diese Weise können wir also Erd- und Himmelskugel als concentrische Kugeln ansehen, d. h. als Kugeln, die denselben Mittelpunkt besitzen.

6. **Veränderlichkeit des Zeniths.** In der Erde ist die Anziehungskraft wirksam. Diese Kraft spannt unter andern die Schnur eines Lothes in vertikaler Richtung, und sie ist auch die Ursache, daß wir Menschen in gewöhnlicher aufrechter Stellung senkrecht auf der Ebene unseres Horizontes stehen, so daß gerade Linien, die wir vom Erdmittelpunkte durch unsern Standpunkt gezogen denken, unsere Vertikalen, die Richtung unserer Stellung bezeichnen. Die Verlängerung dieser Linien bis zum Himmel aber trifft unser Zenith. Wenn wir nun auf der Erdoberfläche fortgehen, so nehmen wir dadurch, daß wir auf einer gekrümmten Fläche fortschreiten, fortwährend, uns unbewußt, eine andere Richtung im Raume an, und mithin muß auch unser Zenith immer andere Punkte des ruhend zu denkenden Himmels treffen und im Sinne unserer Bewegung am Himmel fortschreiten (S. 79).

Wäre die Erde eine vollkommene Kugel, und darum jeder Meridian ein vollkommener Kreis, so müßte offenbar, wenn wir in einem solchen Meridiane genau gleiche Bogen durchschritten, unser Zenith um genau unter sich gleiche Stücke am Himmel sich fortbewegen, oder, was dasselbe heißt: es müßten zu gleichen Bogen des Erdmeridians auch gleiche Winkel am Mittelpunkte der Erde, durch unsere Vertikalen gebildet, gehören.

Fig. 27.



Ist dagegen die Erde eine an den Polen abgeplattete Kugel oder ein Ellipsoid, wie sie es sein muß, wenn sie rotirt, und sind darum die Meridiane keine Kreise, sondern Ellipsen; so können die eben angegebenen Verhältnisse unmöglich eintreten. Eine Ellipse nämlich, *Fig. 27*, hat in verschiedenen Punkten eine verschiedene Krümmung; diese ist am größten an den Enden des größten ihrer Durchmesser, der großen Achse, in der Figur bei *a* und *b*, am geringsten aber an den Enden der kleinen Achse, bei *c* und *d*. Reiset man nun auf einem elliptischen Erdmeridian durch gleich große Bogen, so können diesen nicht auch gleich große Winkel am Erdmittelpunkte und am Himmel nicht gleich große Zenithveränderungen entsprechen. Am langsamsten muß das Zenith da fortschreiten, wo die Krüm-

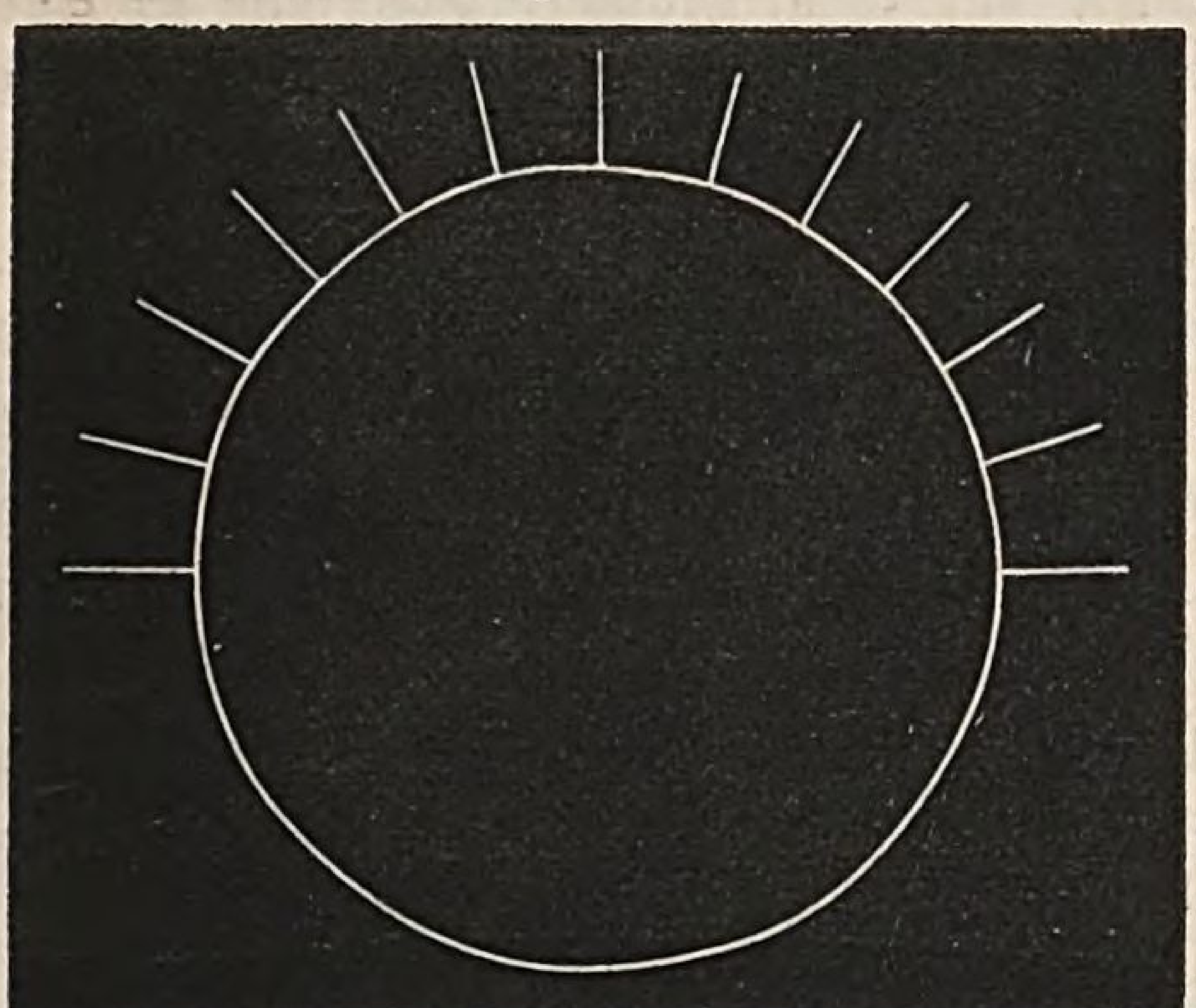
mung der Meridiane am geringsten ist, also an den Polen, am schnellsten hingegen in den Gegenden der größten Krümmung, am Aequator.

Von der Richtigkeit des Gesagten kann man sich leicht durch folgendes einfache Verfahren überzeugen. Man nehme ein recht biegsames Lineal, vielleicht von Fischbein, und befestige in gleichen Entfernungen von einander eine Reihe senkrechter Stifte auf demselben, so daß das Ganze etwa die Gestalt der nebenstehenden *Fig. 28* hat. Offenbar werden die Stifte einander parallel sein. Biegt man aber das Lineal um eine Kugel, so hört der Parallelismus der Stifte auf, und alle divergiren nach oben oder entfernen sich von einander, und zwar wegen der gleichmäßigen Krümmung der Kugeloberfläche gleich weit. Es werden sich also die Verhältnisse wie in *Fig. 29* gestalten.

Fig. 28.

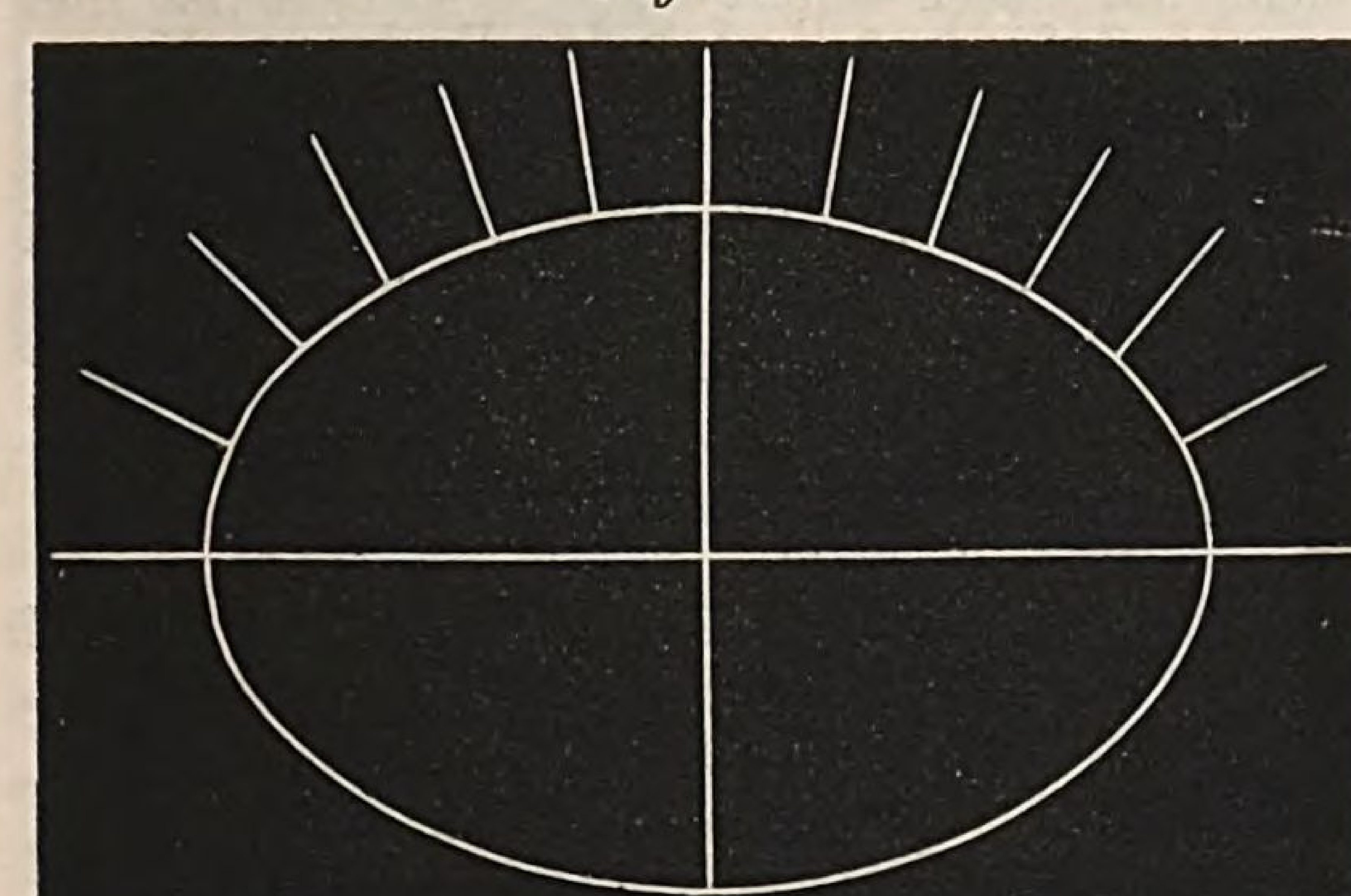


Fig. 29.



Legt man hingegen das Lineal um eine an den Polen abgeplattete Kugel, so werden zwar die Stifte auch nach oben divergiren, aber nicht mehr gleichmäßig. Die oberen Enden werden da am weitesten auseinandertreten, wo die Krümmung am größten ist, am wenigsten in der Gegend der kleinsten Krümmung, wie dies in *Fig. 30* zu erkennen sein wird.

Fig. 30.



Wenden wir dies auf die Erde an! Die Stifte können unsere Stellung auf der Erdoberfläche oder unsere Vertikalen bedeuten. Wäre die Erde eine ebene Scheibe, so würden wir auf derselben stets uns selbst parallel fortschreiten. Wäre sie eine vollkommene Kugel, so müßten unsere Vertikalen in gleichmäßiger Weise nach oben divergiren, unser Zenith am Himmel also gleichmäßig fortschreiten. Ist aber die Erde an den Polen abgeplattet oder ein Ellipsoid, so muß in der Richtung der Meridiane das durch die Vertikalen getroffene Zenith am schnellsten am Aequator, am langsamsten an den Polen sich verändern, oder die im Innern der Erde von den Vertikalen gebildeten Winkel sind für gleiche Bogen

des Erdmeridians am größten am Aequator, am kleinsten an den Polen. Es würden also in diesem Falle gleichen Bogen des Erdmeridians ungleiche Bogen des Himmelsmeridians entsprechen. Hieraus folgt aber umgekehrt von selbst, daß zu gleichen Bogen des Himmelsmeridians ungleiche Bogen des Erdmeridians gehören müssen; am größten sind die letzteren Bogen an den Polen, am kleinsten am Aequator.

Nun ist aber der Himmel mit seinen Gestirnen gleichsam unser Wegweiser auf der Erde. Hat unser Zenith, indem wir im Meridiane reisen, sich am Himmel durch 1, 2, 3, 4 Grade bewegt, und dies wird der Fall sein, wenn z. B. die Polhöhe oder die Zenithdistanz des Poles resp. 1, 2, 3, 4 Grade größer oder kleiner geworden sind, als sie an dem Ausgangspunkte waren; so schließen wir, daß wir auch auf dem Erdmeridiane eine gleiche Anzahl von Graden fortgeschritten sind. Nach dem Obigen müssen aber diese Grade des Erdmeridians ungleich sein, und zwar ergiebt sich folgendes Resultat: Wenn die Erde eine rotirende und darum abgeplattete Kugel ist, so müssen die Grade der Erdmeridiane von ungleicher Größe sein. Sie müssen vom Aequator zu den Polen hin stetig an Größe zu-, und umgekehrt von den Polen nach dem Aequator hin stetig abnehmen. Sie müssen am größten an den Polen, am kleinsten am Aequator sein.

Wenn sich dies als wirklich bestehend nachweisen ließe, so würde dadurch sowohl die Abplattung der Erde an den Polen, als auch die Rotation derselben außer Zweifel gesetzt sein. Um über letztere zur Gewißheit zu gelangen, mußten Mittel ersonnen werden, die Größe der Meridiangrade in verschiedenen Gegenden der Erde zu messen; denn nur durch sehr genaue Messungen ist hier zu einem sicheren Resultate zu gelangen.

Solche Messungen, Gradmessungen genannt, sind seit dem Anfange des 17. Jahrhunderts bis in die Gegenwart hinein vorgenommen worden, und sie haben den ersten direkten Beweis für die Rotation der Erde geliefert. Wir wollen in dem Folgenden das Wichtigste über dieselben in der Kürze mittheilen.

A. Die Gradmessungen.

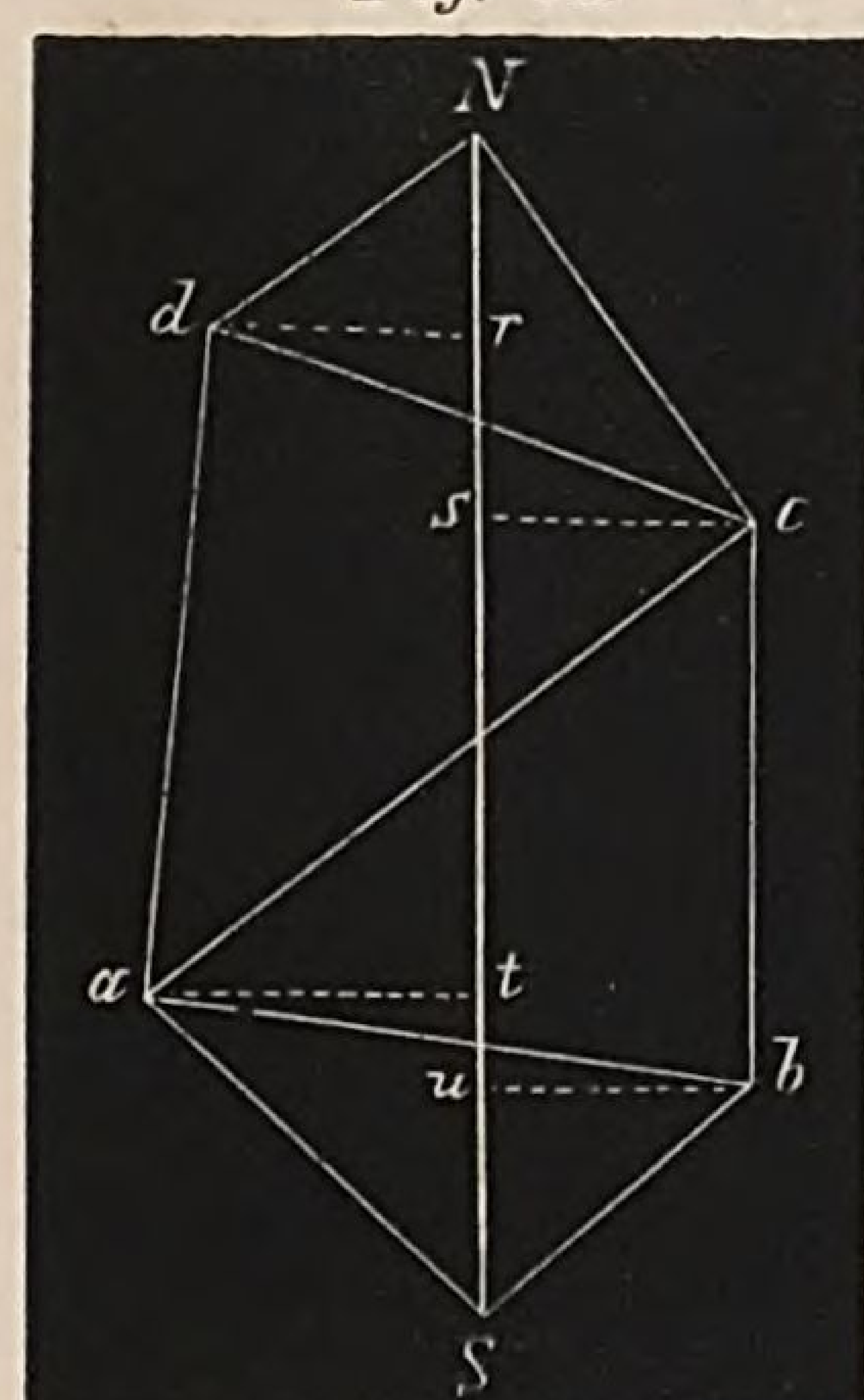
1. Verfahren dabei. Bei den Gradmessungen kommt es zunächst darauf an, zwei geeignete Punkte im Erdmeridian für die Beobachtung und Messung auszuwählen. Dann müssen an beiden Punkten Messungen der Polhöhe oder der Zenithdistanzen des Poles vorgenommen werden, um zu erfahren, wie viel Grade und Theile derselben jene beiden Punkte von einander entfernt sind. Hätte man z. B. die Differenz der gefundenen Polhöhen oder der Zenithdistanzen des Poles $= 1^0\ 8'\ 14''$ gefunden, so wären jene beiden Punkte des Erdmeridians ebenfalls um diese Größe von einander entfernt. Nun wäre nöthig, durch unmittelbare Messung mit einer Meßkette oder sonstigen geeigneten Meßinstrumenten die Länge des Meridianbogens zwischen den beiden gewählten Punkten zu bestimmen und daraus die Größe eines Meridiangrades an der

gemessenen Stelle zu berechnen; denn nicht immer wird es thunlich sein, zwei Punkte gerade so zu wählen, daß ihre Entfernung genau gleich einem Grade ist.

Die Messung des Bogens selbst bietet aber nicht unbeträchtliche Schwierigkeiten dar und ist kaum ausführbar, wenn man durch unmittelbares Anlegen des Maßstabes die ganze Länge auch nur eines Grades, der, beiläufig gesagt, etwa 15 deutsche Meilen lang ist, bestimmen müßte, wie dies z. B. *Mason* in Pensylvanien versucht hat; denn wo findet sich auf der Erde wohl ein Raum, der der Messung keine Schwierigkeiten, wie Wälder, Berge, Flüsse etc., entgegenstellte! Die Schwierigkeiten sind indessen durch ein eigenthümliches, von *Willibrod Snellius* in Holland im Jahre 1615 angegebenes und angewandtes Verfahren sehr verringert worden. Er zeigte, daß man indirekt, durch Construction einer Reihe von Dreiecken, einen Meridianbogen messen könne.

2. **Veranschaulichung.** Angenommen, man wolle den Meridianbogen *NS*, *Fig. 31*, bestimmen und habe die Punkte *a*, *b*, *c*, *d* als passende Beobachtungspunkte gewählt, von denen wenigstens zwei, wir wollen annehmen *S* und *a*, so gelegen sind, daß man bequem zu ihnen kommen kann, und daß der Boden zwischen ihnen möglichst eben ist. Die Verbindungslinien der vier Punkte unter sich und mit *N* und *S* bilden vier Dreiecke, *Sab*, abc, *acd* und *cdN*.

Fig. 31.



Zunächst ist die Linie *Sa* möglichst genau direkt zu messen, da sie zur Basis des ganzen Verfahrens dienen soll und die geringste Ungenauigkeit sich auf alle andern Linien übertragen würde. Dann sind mit einem Winkelinstrumente die drei Winkel des Dreiecks *Sab* zu bestimmen. Es würde eigentlich schon die Bestimmung zweier Winkel genügen; durch Messung des dritten Winkels aber gelangt man zur Gewißheit darüber, ob und in wie weit die Beobachtung richtig ist, da alle drei Winkel eines Dreiecks stets gleich 180^0 sein müssen. Durch eine Seite und zwei Winkel aber ist die Form und die Größe eines Dreiecks genau bestimmt, und die Trigonometrie lehrt, aus der einen bekannten Seite des Dreiecks die übrigen zu berechnen. Ist so *ab* bestimmt worden, so kennt man in dem Dreieck *abc* eine Seite, und es sind nur noch die beiden daran liegenden Winkel zu messen, um auch die beiden andern Seiten berechnen zu können. Auf dieselbe Art werden allmählich die Seiten aller vier Dreiecke bestimmt. Dadurch ist aber noch nicht die Entfernung von *S* nach *N* bekannt, die zu suchen war. Diese Länge wird stückweise gefunden, indem man den Winkel mißt, den eine der Dreiecksseiten mit der Mittagslinie macht (Azimuth). Wäre z. B. der Winkel *dNr* bekannt, so würde man in dem rechtwinkligen Dreieck *dNr* leicht die Länge von *Nr*, also ein Stück der Mittagslinie berechnen

können. Auf ähnliche Weise werden dann die Punkte s, t, u und dadurch endlich der ganze Bogen SN bestimmt.

3. **Die wichtigsten Gradmessungen.** Das eben angegebene Verfahren befolgte *Snellius*, indem er von Alkmaar in Nordholland über Leyden bis Bergen op Zoom ein Netz von Dreiecken legte. Er fand die Größe eines Grades in dem bezeichneten Theile Hollands = 55021 Toisen (1 T. = 6 Par. Fuß), eine Zahl, die bei einer späteren Revision der Rechnung durch *Muschenbroek* auf 57033 Toisen vermehrt wurde.

Im Auftrage der französischen Akademie maß am Ende des 17. Jahrhunderts *Picard* die Größe eines Meridiangrades von Amiens bis Malvoisine im nördlichen Frankreich, und fand dieselbe gleich 57060 Toisen, eine Größe, die dadurch wichtig geworden ist, daß zwei berühmte Männer, *Huyghens* und *Newton*, sie ihren Rechnungen zu grunde legten. Die Vergleichung der beiden gefundenen Größen zeigt aber, daß ein Grad im nördlichen Frankreich größer gefunden wurde als in Holland, und es hätte doch umgekehrt sein müssen.

Auf den Vorschlag *Picards* ward noch in demselben Jahrhundert eine Messung durch ganz Frankreich vorgeschlagen und auch wirklich 1680 von *La Hire* und *Dom. Cassini* begonnen und 1700 von *Jac. Cassini* und *La Hire* fortgesetzt, obgleich *Newton* davon abrieth, da bei der wahrscheinlichen, von ihm schon theoretisch berechneten Kleinheit der Abplattung der Erde die Differenz der Grade im Norden und Süden Frankreichs zu klein sei, um bei der Mangelhaftigkeit der zu gebote stehenden Instrumente zuverlässig genug bestimmt werden zu können. Als Resultat der genannten Messung aber fand man ein Resultat, welches der Abplattung der Erde geradezu widersprach, indem die Grade von Paris bis Dünkirchen sich kleiner ergaben, als die von Paris bis zur Südgrenze von Frankreich. Hiernach hätte also die Erde, allen Gesetzen der Hydrostatik zuwider, ein an den Polen zugespitzter Körper sein müssen, und in der That wurde sie auch fast vier Decennien hindurch dafür gehalten. Um den unter den Gelehrten über die Gestalt der Erde ausgebrochenen Streit zur Entscheidung zu bringen, ordnete die französische Regierung zwei große Gradmessungen an, die eine in Peru unter dem Aequator, in der Nähe von Quito, die andere in Lappland, also in Gegenden, die möglichst weit von einander entfernt waren.

Die peruanische Gradmessung ward 1735 von *Bouguer*, *Condamine* und *Godin* vorgenommen, aber wegen großer zu überwindender Schwierigkeiten erst nach sieben Jahren vollendet. Ihre Resultate machte *Bouguer* später bekannt: es war die Größe eines Meridiangrades unter dem Aequator = 56753 Toisen gefunden worden.

Die lappländische Messung von Torneå aus zum Polarkreise fand unter *Maupertuis*, *Clairaut*, *Outhier* u. A. 1736 statt, und war schon nach 15 Monaten vollendet. Als Größe eines Grades unter dem Polarkreise hatten sich 57437 Toisen ergeben. Somit war ein Resultat erzielt, welches die Abplattung der Erde und somit die Rotation derselben bestätigte.

Auch in England wurden Messungen veranstaltet. Der General *Roy* nahm eine sehr vollständige und genaue Triangulation vor, und *Mudge* führte die eigentliche Gradmessung von der Insel Wight bis Clifton in Schottland mit einer solchen Genauigkeit aus, daß dieselbe alle späteren Prüfungen ausgehalten hat.

Im Jahre 1792 faßte die französische Regierung den Entschluß, unter Benutzung der früheren Messungen eine neue Messung durch ganz Frankreich vornehmen und dieselbe am Anfange dieses Jahrhunderts durch *Biot* und *Arago* bis zur Insel Formentera fortsetzen zu lassen. Nach Beendigung des französischen Krieges wurde diese Messung mit der oben erwähnten englischen von *Mudge* vereinigt und so ein Meridianbogen von 20^0 von Formentera bis zu den orkadischen Inseln im Norden Schottlands gemessen. Das Resultat dieser Messung war der Ansicht, daß die Erde an den Polen abgeplattet sei, entschieden günstig.

Die oben genannte große französische Gradmessung ist noch dadurch wichtig geworden, daß sie von der französischen Akademie als ein Mittel benutzt wurde, ein unveränderliches, stets wieder bestimmbares Naturmaß aufzustellen. Es wurde nämlich aus dem gemessenen, bedeutenden Theile des Erdmeridians die Größe eines Meridian-Quadranten von 90^0 berechnet, und der 10-millionste Theil desselben unter dem Namen Mêtre als Grundmaß für Frankreich bestimmt. Es ward dasselbe auch späterhin, seit 1801, wirklich eingeführt und ist jetzt allgemein im Lande und auch häufig in den Naturwissenschaften in Gebrauch. Es wird in den nächsten Jahren eine weitere Verbreitung in Europa finden.

Ein Mêtre hat eine Länge von 0,51307 Toisen = 3,07844 Par. Fuß = 443,29593 Par. Linien.

Da der Preuß. Fuß = 139,13 Par. Linien, so ist 1 Mêtre = 3,1893 Preuß. F.

Spätere Revisionen der früheren Rechnungen und neuere Bestimmungen der Größe des Meridian-Quadranten haben indessen bewiesen, daß die angegebene und im Gebrauch befindliche Größe des Mêtre nicht genau der 10-millionste Theil eines Meridian-Quadranten ist, und die Meinung, mit dem Mêtre ein unveränderliches, stets wiederzufindendes Naturmaß aufgestellt zu haben, hat sich darum als illusorisch erwiesen.

In neuerer Zeit erfolgten mehrere große und genaue Gradmessungen, unter andern in Finnland und Lappland durch *Struve* in Dorpat, und die russische Regierung bewilligte in den Jahren von 1821 bis 1831 jährlich 10,000 Silberrubel dafür. Auch in der Mitte des Reiches wurden ausgedehnte Messungen vorgenommen, und in keinem Lande der Erde ist ein so großer Meridianbogen als in Rußland gemessen worden; derselbe beginnt bei Ismael an der Donau und reicht mit seinem skandinavischen Theile durch 45^0 20′ der Breite bis Fuglenaes in der Nähe von Hammerfest. In Schweden führte *Bohnenberger*, in Holstein *Schuhmacher* und in Nieder-Sachsen *Gauß* dergleichen Messungen aus.

4. **Resultate der Gradmessungen.** Aus den verschiedenen Gradmessungen hat sich mit Entschiedenheit ergeben, daß die Erde im ganzen die Gestalt einer an den Polen abgeplatteten Kugel hat. Allein man wird begreiflich finden, daß wegen der außerordentlichen Schwierigkeit der anzustellenden Messungen und der Unvollkommenheit der dazu verwendeten Instrumente nicht aus allen Messungen dasselbe Resultat hat gefolgert werden können. Außerdem zeigt die Vergleichung der Resultate verschiedener Gradmessungen, daß die Erdmeridiane nicht genaue elliptische Krümmung besitzen, sondern theils gewölbtere, theils flachere Stellen haben. Aus diesem Grunde sind nicht alle Meridiane einander gleich, und ist die Erde nur im großen und ganzen als ein durch Rotation einer Ellipse um ihre kleine Achse entstandenes Ellipsoid zu betrachten, das von der genauen mathematischen Form im Einzelnen nicht ganz unbeträchtliche Abweichungen zeigt.

Der berühmte, der Wissenschaft leider zu früh entrissene Königsberger Astronom *Bessel* hat sich der Mühe unterzogen, die Resultate der verschiedensten Gradmessungen einer genauen Prüfung zu unterwerfen, und fand als wahrscheinlichstes Resultat aus 10 zuverlässigen Gradmessungen, die $50^0\ 34'$ umfassen, die Abplattung der Erde = $^1/_{299,1518}$. Dieser Bruch (der Einfachheit wegen wollen wir die Decimalstellen des Nenners außer acht lassen), den man den Abplattungs-Exponenten zu nennen pflegt, ist folgendermaßen zu verstehen: Wenn man den Halbmesser des Erdäquators in 299 gleiche Theile theilt, so muß man einen dieser Theile wegnehmen, um die halbe Rotationsachse der Erde zu erhalten. Es ist also die halbe Erdachse um $^1/_{299}$ des Aequatorial-Halbmessers kürzer als dieser Halbmesser, oder es verhält sich jene zu diesem wie 298 : 299.

Newton hatte die Abplattung der Erde bereits vor Ausführung aller Gradmessungen auf theoretischem Wege unter der Annahme bestimmt, daß die Erde in allen ihren Theilen gleiche Dichtigkeit, und zwar die der Oberfläche, besitze, und er hatte als Resultat die Abplattung = $^1/_{230}$, also größer gefunden. Da die wirkliche Abplattung kleiner ist, so geht daraus ohne Zweifel hervor, daß jene Annahme der gleichmäßigen Dichtigkeit der Erde unbegründet ist, daß vielmehr die Dichtigkeit der Erde nach dem Mittelpunkte hin zunimmt.

5. **Die Größe der Erde.** Aus der gefundenen Größe der Meridiangrade leitete *Bessel* folgende Größenverhältnisse für die Erde ab:

Der Halbmesser des Erdäquators	=	3272077,14 Toisen	=	859,4367	geogr. Ml.
der Durchmesser » »	=	6544154,28 »	=	1718,8734	» »
der Umfang des Aequators, diesen als Kreis gedacht*)	=	20559066,9865 »	=	5400	» »
ein Grad des Aequators	=	57108,5194 »	=	15	» »
die geographische Meile	=	3807,2346 »	=	1	» »

*) Der Umfang eines Kreises ist 3,14 (π) mal so groß als der Durchmesser (D) desselben; man erhält jenen deshalb, wenn man die Zahl für die Länge des Durchmessers mit 3,14 multiplicirt ($\pi . D$).

die halbe Achse	= 3261139,33 Toisen	=	856,5637 geogr. Ml.	
die ganze Achse	= 6522278,66 »	=	1713,1274 »	»
Unterschied des Aequatorialhalbmessers und der halben Achse	= 10937,81 »	=	2,8730 »	»
Unterschied des Aequatorialdurchmessers und der ganzen Achse	= 21875,62 »	=	5,7460 »	»
Mittlerer Grad eines Meridians	= 57013,109 »	=	14,9749 »	»
Umfang eines Meridians	=		5390,978 »	»
Unterschied mit dem Umfang des Aequators	=		9,022 »	»

die Oberfläche des Erdellipsoids = 9279848,422 geographische Quadratmeilen,
eine vollkommene Kugel vom Durchmesser des Aequatorial-Durchmessers*) = 9281910,4 » »
eine vollkommene Kugel vom Durchmesser der Achse . . . = 9219960,2 » »
Der körperliche Inhalt des Erdellipsoids**) = 2650180306 Kubikmeilen.

Wenn nach dem Bisherigen die Frage nach der Gestalt und Größe der Erde auch im allgemeinen als genügend gelöst betrachtet werden kann, so fehlt doch noch ziemlich viel daran, ihre wahre Gestalt im einzelnen genau erforscht zu haben. Galten die bisherigen Breitengradmessungen vornehmlich der Feststellung der ellipsoidischen Gestalt im großen, so werden die jetzt noch vorzunehmenden Messungen die Abweichungen von dieser Gestalt nachzuweisen haben. Das Interesse dafür ist gegenwärtig ziemlich rege geworden, und zwar vornehmlich durch den preußischen Generallieutnant *J. J. Baeyer*, der in einer besonderen Denkschrift eine mittel-europäische Gradmessung von Palermo durch Italien, Deutschland und Skandinavien in Vorschlag gebracht hat, mit welcher Längengradmessungen in Verbindung gebracht werden sollen, um auch die Gestalt der Parallelkreise zu bestimmen. Die Sache hat fast in allen Ländern Europas Anklang gefunden; fast alle Regierungen haben hinreichende Mittel für den Zweck bewilligt und die Männer bestimmt, welche bei der Ausführung thätig sein sollen. Die Arbeiten sind bereits in vollem Gange, und das große Netz von Dreiecken ist entworfen. Der zu messende

*) Die Oberfläche einer Kugel findet man, wenn man die Zahl für den Durchmesser der Kugel mit sich selbst multiplicirt (sie ins Quadrat erhebt), die gefundene Zahl mit 3,14 multiplicirt und diesem gefundenen Produkt die entsprechende Quadrateinheit als Benennung giebt ($D^2 . \pi$).

**) Der körperliche Inhalt einer Kugel wird gefunden, wenn man die Zahl für den Durchmesser 3mal mit sich selbst multiplicirt (die Kubikzahl von ihr sucht), die gefundene Zahl 3,14 mal nimmt, und das entstandene Produkt durch 6 dividirt. $\left(\frac{D^3 . \pi}{6}\right)$ Als Benennung dient die entsprechende Kubikeinheit.

mittel-europäische Parallelbogen reicht von Irland bis zur Ostgrenze von Europa und wird etwa dem 52sten Parallelkreis folgen.

Nähere Belehrung über die Sache und über die bisherigen Gradmessungen findet man in der Schrift: »Ueber die Größe und Figur der Erde. Eine Denkschrift zur Begründung einer mittel-europäischen Gradmessung von *J. J. Baeyer*, Berlin bei *Georg Reimer*«.

Folgerungen.

1. **Folgerungen aus der Abplattung der Erde.** Indem die Gradmessungen die Abplattung der Erde über allen Zweifel erhoben, lieferten sie auch einen vollgiltigen Beweis für die Achsendrehung der Erde. Außerdem ist man durch jene Messungen erst zu einer richtigen Vorstellung von der Größe der Erde gelangt, worüber man in früheren Zeiten so gut wie vollständig im Dunkeln war. Allein bei diesen Resultaten blieb man nicht stehen, sondern baute, und namentlich *Newton*, auf dieselben neue Schlüsse, und suchte dann die Richtigkeit derselben durch angestellte Experimente zu beweisen.

Ein wahrer Satz nämlich kann nur wahre Folgen haben, und von diesen kann auf die Wahrheit des Satzes zurückgeschlossen werden. Sind die aus einem Satze logisch richtig abgeleiteten Folgen wahr, so muß auch der Satz, von dem man ausging, selbst wahr sein.

Die in der Erde wirksame Anziehungskraft kann, obgleich in jedem einzelnen Theilchen der Erde wirksam, als in dem Mittelpunkte vereinigt gedacht werden. Nun lehrt die Erfahrung, daß die Wirkung einer anziehenden Kraft, z. B. die eines Magneten, auf einen andern Körper um so schwächer ist, je weiter dieser Körper von dem anziehenden entfernt ist, und zwar ist die Anziehung in 2, 3, 4 facher Entfernung nur noch der resp. 4te, 9te, 16te Theil der in einfacher Entfernung beobachteten, d. h. sie nimmt ab, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen.

Da die Erde eine an den Polen abgeplattete Kugel ist, und darum die verschiedenen Punkte ihrer Oberfläche eine ungleiche Entfernung vom Mittelpunkte haben, so muß die Kraft, mit welcher die Körper an der Oberfläche der Erde angezogen werden, in verschiedenen Gegenden eine verschiedene sein. Am stärksten, weil in der kleinsten Entfernung wirkend, muß sie an den Polen, am schwächsten unter dem Aequator sein; von hier bis zu den Polen hin aber muß sie stetig zunehmen.

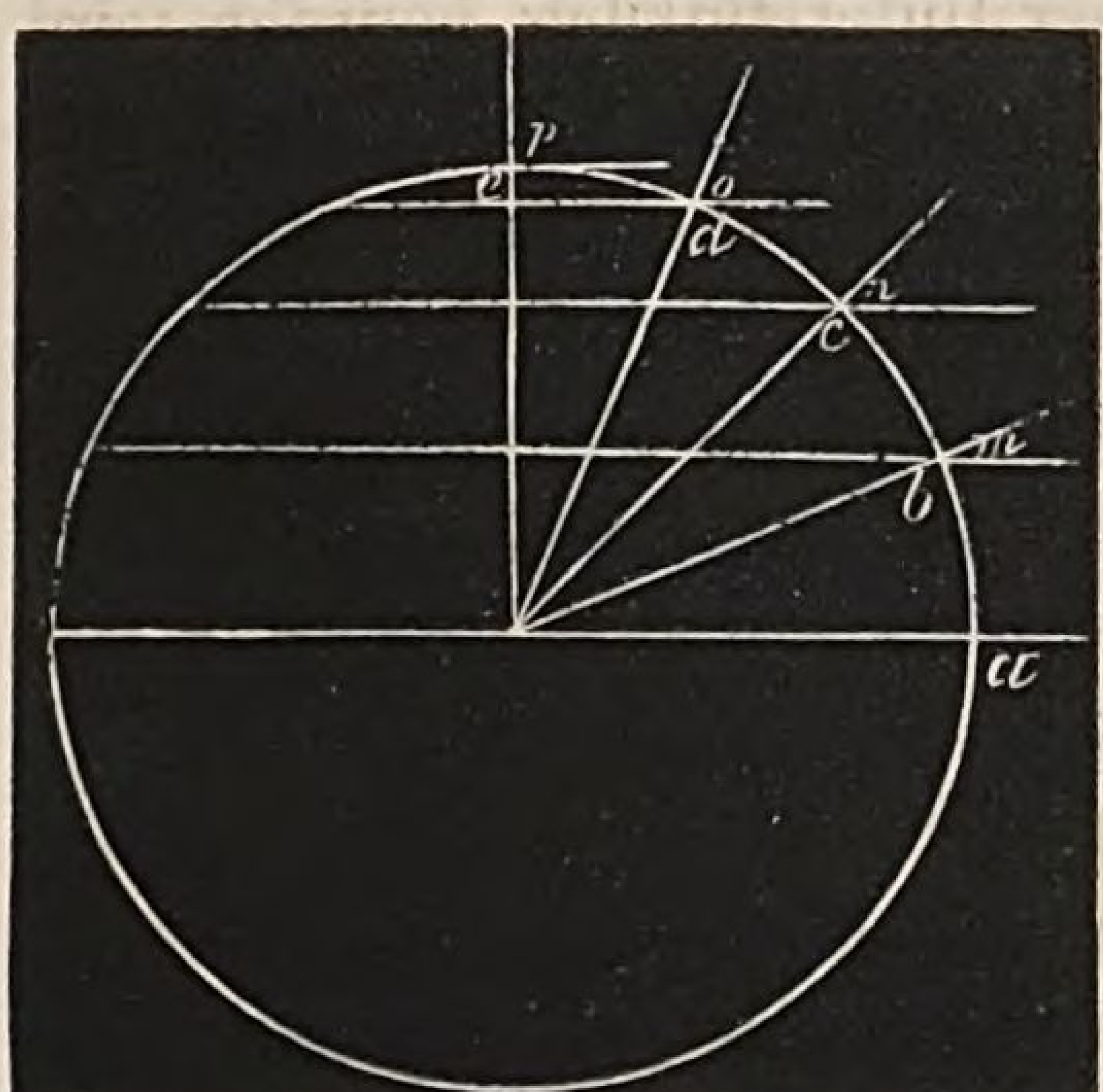
Da die Größe der Abplattung durch die Gradmessungen und damit die Entfernung der verschiedenen Punkte der Erde vom Erdmittelpunkte, außerdem aber auch das Gesetz bekannt ist, nach welchem die Anziehungskraft wirkt; so läßt sich die Stärke der Anziehung für die verschiedenen Punkte der Erde berechnen, insoweit sie von der Entfernung vom Erdmittelpunkte abhängig ist.

2. **Folgerungen aus der Achsendrehung.** Wenn ferner die Erde eine Achsendrehung hat, so müssen alle Theile der Erde, mit Ausnahme der in der Achse liegenden, der Schwung- oder Centrifugalkraft unterworfen

sein. Für die Punkte der Erdoberfläche ist diese am größten unter dem Aequator, und sie nimmt von hier nach den Polen hin im Verhältnisse der Halbmesser der durchlaufenen Kreise stetig ab. Die Größe ihres Werthes läßt sich nach den Grundsätzen der Mechanik für jeden Punkt leicht berechnen, da die dazu nöthigen Stücke, nämlich die Größe der Parallelkreise und die Rotationszeit der Erde = 24 Std. bekannt sind. Für den Aequator beträgt sie z. B. $^1/_{290}$ der dort beobachteten Anziehungskraft. Dies ist freilich keine bedeutende Kraft, weil die Erde verhältnismäßig langsam rotirt. Erfolgte die Rotation in $^1/_{17}$ der jetzigen Zeit, also in $^{24}/_{17}$ Std. = $1^7/_{17}$ Std., so würde die Schwungkraft der Anziehungskraft gleich sein. Ein in die Höhe geworfener Körper würde dann nicht wieder zur Erde zurückfallen.

Da die Schwungkraft alle Körper vom Mittelpunkte zu entfernen, die Anziehungskraft sie aber demselben zu nähern sucht, so wirken beide Kräfte einander entgegen. Allein wenn man auf die Richtung achtet, in der beide Kräfte wirken, so findet ein bei Bestimmung der Größe der jedem Punkte entsprechenden Anziehungskraft nicht zu übersehender Umstand statt. Beim Aequator wirken Zieh- und Fliehkraft in derselben Ebene, und wirken darum hier am stärksten einander entgegen. Nach den Polen zu wirken beide Kräfte unter einem Winkel, der um so größer wird, je größer die Entfernung vom Aequator ist. Dies kann aus der nebenstehenden *Fig. 32* ersehen werden. In *a*, unter dem Aequator, wirken beide Kräfte in derselben Ebene, in *b*, *c*, *d*, *e* wirken sie unter den Winkeln *m*, *n*, *o* und *p*. Der Augenschein lehrt, daß diese Winkel vom Aequator zu den Polen hin von 0 bis 90° wachsen. Wirkten Zieh- und Fliehkraft überall in derselben Ebene, und darum letztere mit ihrem ganzen Werthe jener entgegen, so müßte offenbar, da die Fliehkraft wie die Halbmesser der durchlaufenen Kreise nach den Polen hin abnimmt, diese Verminderung der Anziehungskraft in demselben Verhältnisse erfolgen.

Fig. 32.



Da indessen Flieh- und Ziehkraft nördlich und südlich vom Aequator unter einem Winkel einander entgegenwirken, so wird die letztere Kraft nur durch einen Theil der Fliehkraft geschwächt. Es geschieht darum die Verminderung der Anziehungskraft durch die Fliehkraft nach den Polen hin nicht im Verhältnisse der Halbmesser der Parallelkreise, sondern, da der wegen des genannten Winkels seitlich gehende Theil der Fliehkraft sich ebenfalls wie die Halbmesser der Parallelkreise verhält, im Verhältnisse der Quadratzahlen dieser Halbmesser.

Das Gesagte wird genügen, um zu beweisen, daß es möglich ist, auf rein theoretischem Wege den Werth der Anziehungskraft für jeden Punkt der Erde zu berechnen. Eine solche Berechnung ist ausgeführt worden, und wir theilen

einige Resultate derselben nach *Littrow* mit. Das Verhältnis der Anziehungskraft in verschiedenen Breiten der Erde ist durch die hier herrschende Fallgeschwindigkeit der Körper, mit der sie am Ende der ersten Sekunde des Falls fortgehen würden, wenn die Erde auf sie zu wirken aufhörte, ausgedrückt worden.

Breite	Fall in Par. Fuß.
0°	30,1028
20°	30,1150
40°	30,1158
60°	30,1808
80°	30,2037
90°	30,2068

Wenn nun durch direkte Versuche bewiesen werden könnte, daß die berechneten Verhältnisse wirklich bestehen, so wäre damit bewiesen, daß die Voraussetzungen, auf welche jene Berechnungen gegründet wurden, richtig sind, daß also einmal, was schon anderweitig dargethan, die Erde abgeplattet ist, und daß sie ferner, worauf es uns hier ankommt, rotirt.

3. **Fall und Gewicht der Körper als Wirkungen der Anziehungskraft der Erde.** Eine unmittelbare Wirkung der Anziehungskraft der Erde ist der Fall der Körper. Jeder Körper, der seiner Unterstützung beraubt wird, fällt mit einer gewissen Geschwindigkeit zur Erde herab, und diese Geschwindigkeit oder der Weg, den er freifallend in einer gewissen Zeit durchläuft, ist ein Maß für die Größe der Anziehungskraft.

Wird ein Körper am Fallen verhindert, so deutet er sein Streben nach dem Erdmittelpunkte, welches man auch die Schwere nennt, durch den Druck an, den er auf eine Unterlage ausübt. Die Größe dieses Druckes nennt man das Gewicht des Körpers, und dieses Gewicht ist ein zweites Maß für die Größe der Anziehungskraft.

Nach dem Obigen aber müssen die Fallgeschwindigkeit und das Gewicht eines Körpers in verschiedenen Gegenden der Erde verschieden sein. Am kleinsten müssen beide am Aequator, am größten an den Polen sein, und kennt man den Fallraum eines Körpers in einer bestimmten Zeiteinheit und sein Gewicht für einen Punkt der Erde, so lassen sich beide nach dem oben Mitgetheilten für andere Punkte derselben berechnen. Es würden also Fallversuche und Abwägungen der Körper in verschiedenen Erdgegenden vorzunehmen sein, um zur Gewißheit darüber zu gelangen, ob die Erfahrung mit den Resultaten der Rechnung übereinstimmt.

4. **Fallversuche.** Ein frei fallender Körper fällt in Berlin in der ersten Sekunde seines Falles durch einen Raum von 15,103 Par. Fuß. Nach den Polen zu muß diese Zahl sich vergrößern, nach dem Aequator hin sich verkleinern. Da am Aequator die Schwere nur $^1/_{290}$ geringer ist als an den Polen, sich die Fallhöhen aber wie die Schwere verhalten, so beträgt, wenn wir den

Fallraum in der ersten Sekunde in runder Zahl = 15 Fuß annehmen, der Unterschied desselben für den Pol und den Aequator nur 7,4 Linien. Diese Größe ist zwar nicht zu klein, um bemerkt zu werden; da indessen die Körper mit beschleunigter Geschwindigkeit fallen, so würde ein sehr geringer Fehler in der Beobachtung der Fallzeit hinreichen, jenen Unterschied mehr als vollständig aufzuheben.

Ließe man Körper aus großen Höhen fallen, so würde freilich wegen längerer Zeit des Falles der Unterschied der Fallräume sich als beträchtlicher herausstellen; allein weil solche Versuche in der atmosphärischen Luft vorgenommen werden müssen, diese aber wegen veränderlicher Dichtigkeit etc. dem fallenden Körper zu verschiedenen Zeiten einen verschiedenen Widerstand leisten würde, so könnten auch die so gewonnenen Resultate wenig Ansprüche auf Zuverlässigkeit besitzen. Kurz: es haben diese Fallversuche kein sicheres Resultat geliefert.

5. **Abwägungen der Körper.** Nichts Besseres ist von den Abwägungen der Körper in verschiedenen Breiten zu sagen. Allerdings müssen die Körper von dem Aequator nach den Polen zu gewichtiger werden, so daß z. B. ein Körper, der an dem ersteren Orte 289 Pfd. wiegt, an den Polen ein Gewicht von 290 Pfd. besitzen muß; wie aber will man mit Wagen den Gewichtsunterschied zeigen, da die ganze Wage samt den mitgenommenen Gewichten in demselben Verhältnis mit den abzuwägenden Körpern gewichtiger werden. Nur in einem Falle würde sich ein entscheidendes Resultat herausstellen, wenn sich nämlich Wagen von außerordentlicher Größe, vielleicht mit meilenlangem Wagebalken, construiren ließen. Hätte man eine solche Wage in der Richtung eines Parallelkreises ins Gleichgewicht gebracht, so würde dieses Gleichgewicht nicht mehr stattfinden, wenn man die ganze Wage so drehte, daß der Wagebalken in die Richtung des Meridians käme; sie würde sich dann nach den Polen zu senken. Allein dergleichen Wagen sind nicht anzufertigen, und darum können auch Abwägungen der Körper in verschiedenen Breiten zu keinem Resultate führen.

B. Das Pendel.

Bis zur zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts hatte man vergebens nach einem Mittel gesucht, die aus der Theorie geschlossenen Resultate durch Experimente als wirklich bestehend nachzuweisen, bis man endlich durch Zufall, wie auf manche andere wichtige Erfindung und Entdeckung, auf ein Mittel geführt wurde, das alle oben angedeuteten Schwierigkeiten durchaus nicht darbot und eine glänzende Bestätigung des theoretisch Geschlossenen lieferte.

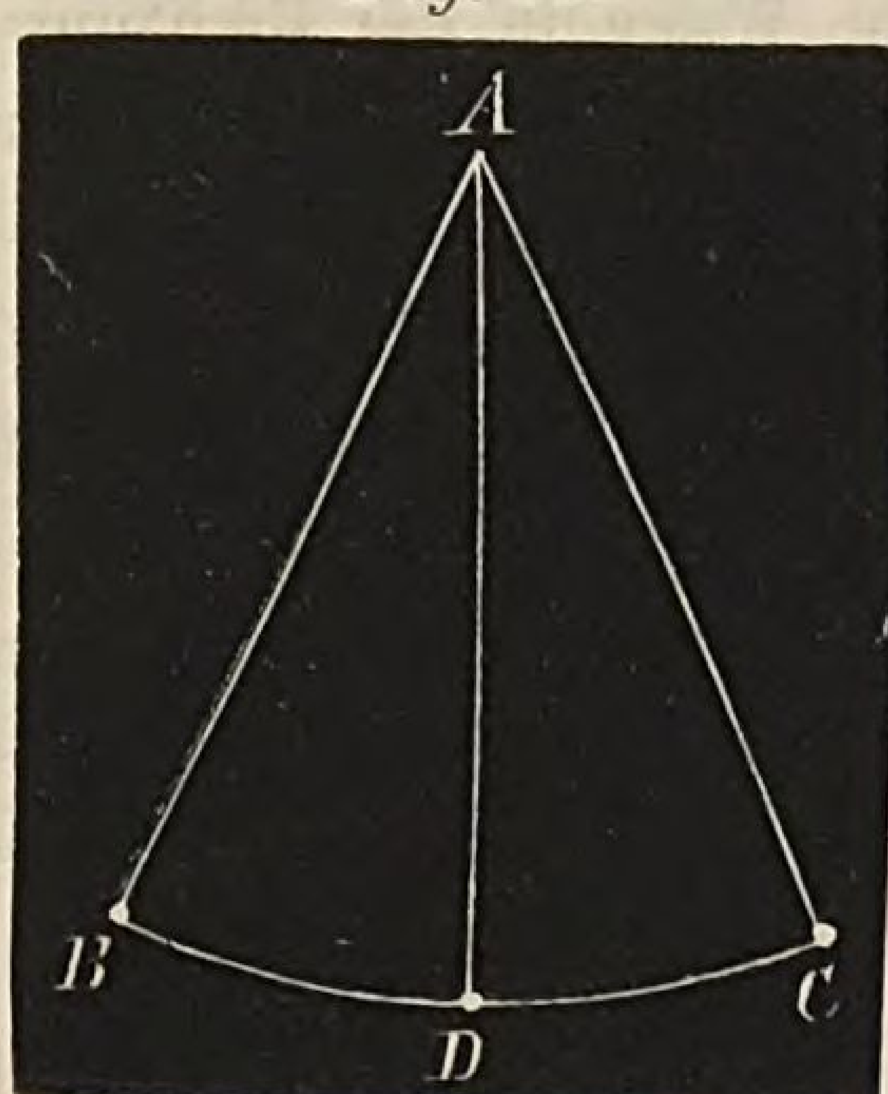
1. **Richers Erfahrung.** Als nämlich im Jahre 1672 der französische Astronom *Richer* von Paris nach Cayenne, der Hauptstadt des französischen Guyana in Südamerika, reiste, einem Orte, der nur 5° nördlich vom Aequator entfernt ist, nahm er auf dieser Reise seine nach Pariser Zeit regulirte Pendeluhr mit, um sie, wie in Paris, zu astronomischen Zwecken zu benutzen. Als er diese Uhr in Cayenne aufstellte, war er erstaunt, sie nicht mehr richtig,

sondern täglich 148 Sekunden nachgehen zu sehen, und er war deshalb genöthigt, das Pendel um nahe $1^1/_4$ Par. Linie zu verkürzen, um den Gang der Uhr zu beschleunigen und so die Differenz auszugleichen. Als er später nach Paris zurückkehrte, fand er, daß seine Uhr nun täglich 148 Sekunden zu früh ging, und er mußte deshalb das Pendel wieder um $1^1/_4$ Linie verlängern, um ihm die frühere Länge zu geben. Einer Störung der Uhr während der Reise konnte er diese Erscheinungen im Gange der Uhr unmöglich zuschreiben; doch gelang es ihm nicht, die wahre Ursache derselben zu entdecken. Hierzu gehörte *Newtons* Scharfsinn. Dieser große Mann hatte kaum von der Sache gehört, als er sie sogleich für den so lange vergeblich gesuchten experimentalen Beweis für die Rotation und die Abplattung der Erde erklärte. Und in der That, es ist kein zweites Instrument gefunden worden, das die Größe der Abplattung mit einer größeren Genauigkeit zu bestimmen möglich gemacht hätte, als das Pendel; ja, es ist durch dasselbe gelungen, das Verhältnis der Schwere in verschiedenen Breiten und den Fallraum der Körper in der ersten Sekunde des Falles mit einer Schärfe anzugeben, wie es auf andern Wegen nicht hatte geschehen können.

2. **Einrichtung des Pendels.** Wir wollen deshalb noch einige Zeit bei dem Pendel verweilen, um es genauer kennen zu lernen.

Befestigt man z. B. eine Bleikugel oder sonst einen schweren Körper an einem Faden, den wir ohne Gewicht denken wollen, und hängt mit diesem die Kugel in angemessener Weise, etwa an einem Stifte, auf, so hat man ein einfaches Pendel, wie es *Fig. 33* zeigt.

Fig. 33.



Ueberläßt man die Kugel sich selbst, so wird sie durch die Wirkung der Schwere nach dem Punkte *D* gezogen, und sie spannt den Faden in der senkrechten Richtung *AD*. Bringt man dagegen die Kugel aus dieser Ruhelage in eine neue, *AB*, so wird die Kugel, losgelassen, wegen der Anziehungskraft der Erde darnach streben, den tiefsten Punkt des Bogens *BDC* einzunehmen, um dem Erdmittelpunkte so nahe als möglich zu sein. Durch die Bewegung der Kugel von *B* nach *D* hat aber dieselbe eine gewisse Geschwindigkeit erhalten, und wegen der Trägheit oder des Beharrungsvermögens, dem alle Körper unterworfen sind, wird die Kugel genöthigt, einen zweiten, *BD* gleichen Bogen *DC* zu durchlaufen. In *C* aber kann sie nicht zur Ruhe gelangen, da die Anziehungskraft der Erde sie aufs neue nach dem Punkte *D* zu ziehen trachtet. Sie schwingt also nach *D* zurück, und weil hier wieder das Beharrungsvermögen seinen Einfluß geltend macht, so steigt die Kugel wieder bis *B* empor, von wo dann die Bewegung in der beschriebenen Weise sich wiederholt. So fährt die Kugel fort, den Bogen *BDC* und umgekehrt *CDB* zu durchlaufen. Einen Hin- oder einen Hergang des

Pendels von B nach C oder von C nach B nennt man eine ganze Schwingung, während die Hälfte des bezeichneten Weges BD und DC eine halbe Schwingung heißt.

Da Anziehungskraft und Beharrungsvermögen stetig wirkende Kräfte sind, so müßte das Pendel eigentlich beständig in Bewegung verbleiben. Dies ist indessen nicht der Fall, sondern die Schwingungen werden, da die Reibung des Fadens in dem Aufhängepunkt A, sowie der Widerstand der Luft das Beharrungsvermögen allmählich aufheben, fortwährend kleiner, bis endlich die Anziehungskraft allein wirkend übrigbleibt und die Kugel in der Richtung AD zur Ruhe bringt. Je mehr man die Reibung in dem Aufhängungspunkte und den Widerstand der Luft durch Wahl einer passenden Form (Linsenform) des schwingenden Körpers vermindert, desto länger schwingt das Pendel.

3. **Anwendung auf die Erde.** Bei einem schwingenden Pendel sind also zwei Kräfte wirksam, nämlich die Anziehungskraft der Erde und die Schwungkraft des Pendels. Den ersten Anstoß zur Bewegung giebt die erstere Kraft, und von dem Grade ihrer Stärke hängt die Geschwindigkeit ab, mit welcher das Pendel seine Schwingungen vollendet. An einem bestimmten Punkte der Erde hat die Anziehungskraft eine bestimmte Stärke, und man sieht leicht ein, daß die Wirkung derselben auf Pendel von gleicher Länge eine gleiche sein muß, daß also Pendel von gleicher Länge an einem und demselben Orte gleich schnell schwingen müssen. Da ferner an Oertern von gleicher geographischen Breite und von gleicher Höhe über dem Meeresspiegel, wegen gleicher Entfernung vom Erdmittelpunkte und gleicher Schwungkraft, die Anziehungskraft gleich ist, so schwingt ein und dasselbe Pendel oder schwingen gleich lange Pendel an diesen Oertern ebenfalls mit gleicher Geschwindigkeit. Für Pendel von verschiedener Länge ist dies nicht der Fall. Die Erfahrung lehrt, daß an einem bestimmten Orte ein Pendel um so schneller schwingt, je kürzer es ist, und daß umgekehrt die Schwingungsdauer um so größer wird, je länger das Pendel ist. Die für das Pendel überhaupt geltenden Gesetze sind von *Galilei*, einem italienischen Naturforscher, aufgestellt worden, der durch die Schwingungen einer Lampe im Dome zu Pisa zur Erforschung derselben angeregt worden sein soll.

4. **Ein Pendelgesetz.** Unter andern besteht zwischen der Zahl der in einer gewissen Zeit gemachten Schwingungen und der Länge des Pendels ein ganz bestimmtes Verhältnis. Pendel, die 4, 9, 16 ... mal so lang sind als ein anderes, machen in derselben Zeit resp. 2, 3, 4 ... mal so wenig Schwingungen als dieses. Jedenfalls besteht also zwischen der Länge und den Schwingungsmengen der Pendel ein umgekehrtes Verhältnis. Die Zahlen 4, 9, 16 ..., welche dies Verhältnis der Längen der Pendel bezeichnen, sind die Quadratzahlen*) der die entsprechenden Schwingungsmengen ausdrückenden Zah-

*) Eine Quadratzahl ist eine Zahl, die man erhält, wenn man eine andere Zahl mit sich selbst multiplicirt; so sind 25, 36, 49 die Quadratzahlen von resp. 5, 6 und 7.

len 2, 3, 4 ...; es gilt deshalb als Gesetz: Die Pendellängen verhalten sich umgekehrt wie die Quadratzahlen der Schwingungsmengen.

Ist die Anziehungskraft der Erde in verschiedenen Breiten verschieden, wie sie es aus angegebenen Gründen sein muß, so kann ein und dasselbe Pendel in verschiedenen Breiten nicht gleich schnell schwingen; je stärker die Anziehungskraft ist, desto schneller, je schwächer sie ist, desto langsamer muß es schwingen. Ersteres muß nach den Polen zu, letzteres nach dem Aequator zu geschehen. Daß *Richers* Uhr in Cayenne nachging, war also sehr natürlich. Die beobachtete Thatsache zeigte unwiderleglich die Verminderung der Anziehungskraft der Erde nach dem Aequator zu und war somit eine schöne Bestätigung der Rotation und der Abplattung der Erde.

5. **Das Sekundenpendel.** Seit jener Erfahrung *Richers* sind Pendelbeobachtungen in fast allen wichtigen Städten der Erde angestellt worden. Gewöhnlich benutzte man dazu sogenannte Sekundenpendel, d. h. Pendel, die in je einer Sekunde genau eine ganze Schwingung machen. Nach dem Obigen muß das Sekundenpendel in verschiedenen Breiten eine verschiedene Länge haben; es muß am längsten an den Polen, am kürzesten an dem Aequator sein. Es ist keine schwierige Aufgabe, die Länge desselben für verschiedene Breiten zu bestimmen. Es kann dies auf theoretischem Wege, aber auch durch unmittelbare Beobachtungen geschehen. Es ist nämlich in dem angeführten Pendelgesetz schon gezeigt worden, daß zwischen den Quadratzahlen der Schwingungsmengen und der Länge zweier Pendel ein bestimmtes Verhältnis stattfindet.

Hätte man z. B. für irgend einen Ort der Erde ein Sekundenpendel construirt, so dürfte man dasselbe nur an verschiedenen Oertern der Erde aufstellen und die von ihm in einer bestimmten Zeit gemachte Zahl der Schwingungen zählen. Die Quadratzahlen dieser Schwingungsmengen wären dann einmal das Verhältnis der Anziehungskraft, zugleich aber auch das Längenverhältnis der Sekundenpendel an diesen Oertern.

Ein Sekundenpendel macht unter dem Aequator in 24 Std. 86400 ganze Schwingungen. Wenn nun dasselbe Pendel in Berlin in derselben Zeit 86542 Schwingungen vollführt, so muß sich die Länge des Sekundenpendels an beiden Orten wie die Quadratzahlen dieser Zahlen, d. i. wie 1 : 1,0033 zu einander verhalten. Da nun das Sekundenpendel unter dem Aequator eine Länge von 439,258 Par. Linien hat, so ist die Länge des Sekundenpendels zu Berlin = 440,735 Par. Linien. An den Polen würde die Länge desselben = 441,562 Par. Linien gefunden werden. Das oben angegebene Verhältnis der Länge des Sekundenpendels ist aber zugleich das der Schwere. Darum wiegt eine Last, die unter dem Aequator 10000 Pfd. wiegt, in Berlin 10033 Pfd., und da die Fallgeschwindigkeit der Körper ebenfalls ein Maß der Schwere ist, so muß ein Körper, der unter dem Aequator in der ersten Sekunde einen Fallraum von 15,05409 Par. Fuß zurücklegt, in Berlin 15,10377 Par. Fuß durchlaufen.

Das Gesagte wird hinreichen, erkennen zu lassen, ein wie wichtiges In-

strument das Pendel in der Hand eines tüchtigen Astronomen und Physikers ist. Es hat der Wissenschaft einen großen Triumph bereitet, indem es das aus der Theorie Geschlossene als thatsächlich bestehend nachwies. Es kann nun an der Rotation der Erde durchaus nicht mehr gezweifelt werden. Die Größe der Abplattung, das Verhältnis der Schwere, die Größe des Fallraumes der Körper in verschiedenen Breiten haben durch das Pendel mit einer Genauigkeit bestimmt werden können, wie sie mit andern Mitteln trotz der größten Mühe früher nicht zu erreichen gewesen war; ja, in eine passende Form gebracht, hat es, wie wir noch später sehen werden, dazu gedient, das Gewicht und die Dichtigkeit der Erde zu bestimmen. Außerdem ist es durch *Huyghens*, einen berühmten holländischen Astronomen und Physiker, als ein Mittel angewandt worden, den Gang der Uhren gleichmäßig zu machen, und indem es so die Herstellung eines genauen Zeitmessers ermöglichte, ohne den zuverlässige astronomische Beobachtungen nicht gemacht werden können, förderte es die Entwicklung der Astronomie selbst, und es hat somit einen nicht unwesentlichen Antheil an den von dieser Wissenschaft gefeierten Triumphen.

Drittes Kapitel.

Die Achsendrehung der Erde ist von Westen nach Osten gerichtet.

I. Einwürfe gegen die Achsendrehung.

Nachdem durch direkte Versuche außer Zweifel gestellt worden war, daß die Erde eine Achsendrehung besitze, war damit eigentlich auch die Richtung dieser Bewegung entschieden; sie kann nicht anders als von W. nach O. erfolgen, da ja die scheinbare Bewegung des Himmels von O. nach W. gerichtet ist, und scheinbare und sie veranlassende wirkliche Bewegung einander stets entgegengesetzt sind.

1. Einwürfe gegen die Rotation der Erde. Dessen ungeachtet wurde die Sache noch weiter verfolgt, und es trugen dazu unter andern auch die Leugner der Rotation der Erde bei, namentlich auch *Tycho Brahe*, ein berühmter dänischer Astronom, von dem wir in der Folge noch weiter hören werden, und *Riccioli*, der im Rufe eines großen Gelehrten stand.

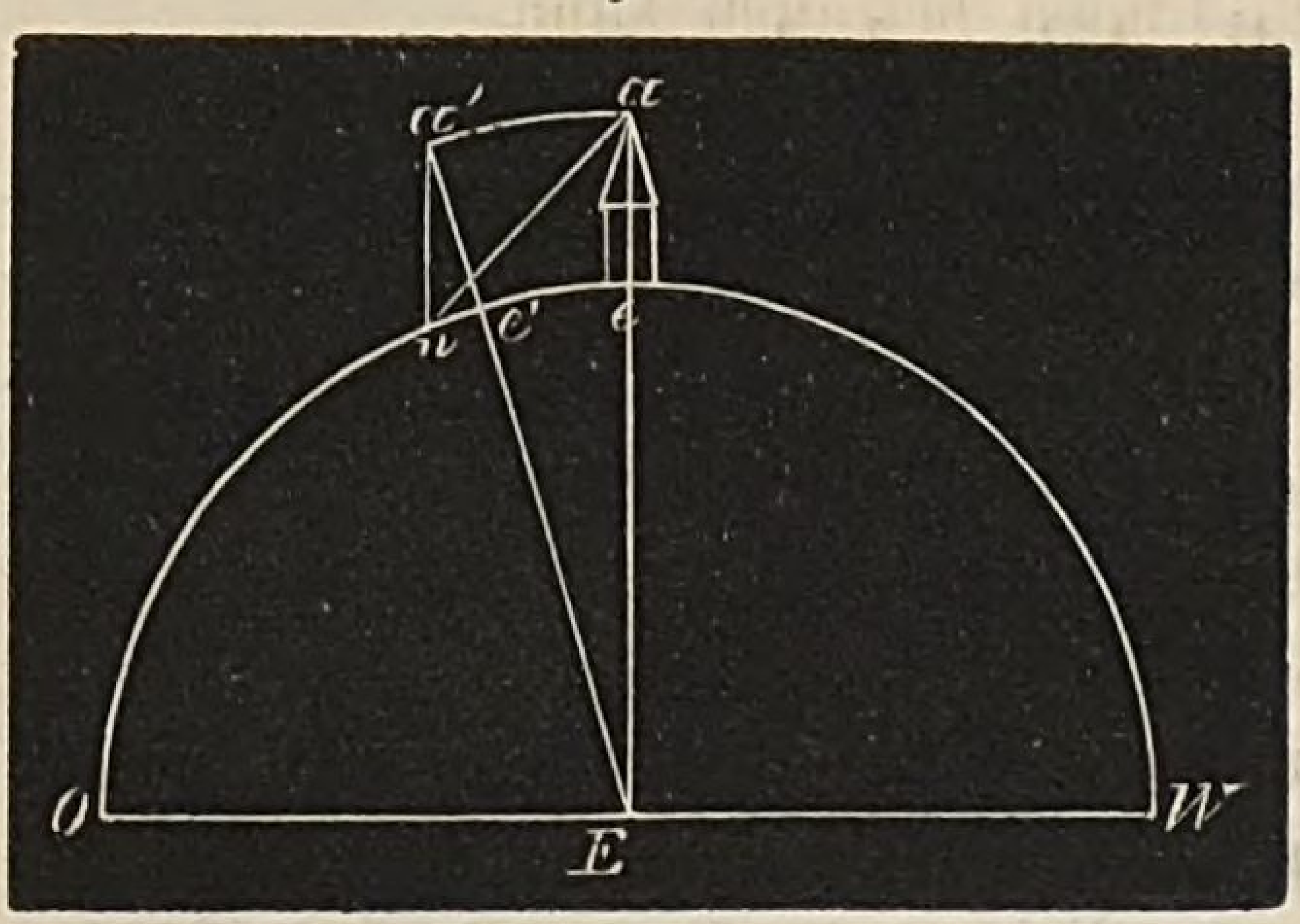
Man argumentirte etwa folgendermaßen: Rotirte die Erde von W. nach O., so könnte ein Körper, den man aus einer beträchtlichen Höhe zur Erde herabfallen ließe, unmöglich in einem Punkte den Boden erreichen, der lothrecht unter dem Abgangspunkte des Körpers liegt, sondern er müßte, da sich die Erde während seines Falles unter ihm von W. nach O. fortbewegte, nach Maßgabe der Fallzeit westlich von jenem Punkte den Boden erreichen. Die Erfahrung bestätige dies aber durchaus nicht, vielmehr fielen alle Körper stets lothrecht zur Erde; darum könne die Erde unmöglich rotiren. In ähnlicher

Weise schlossen mehrere Gegner der immer mehr Boden gewinnenden Ansicht von der Rotation der Erde. Nach ihnen hätte ein Tänzer oder kühner Springer bei jedem größeren Sprunge in Gefahr gerathen müssen, gegen die Wände geschleudert zu werden, da ja der Boden des Zimmers unter ihren Füßen fortrückte. Dies schienen in der That gewichtige Gründe gegen die Achsendrehung der Erde zu sein, und viele mögen beigestimmt haben.

2. **Newtons Gegengründe.** Doch *Newtons* Scharfblick verstand es, die Leugner der Rotation mit eigenen Waffen zu schlagen, indem er die Erfahrungen bei fallenden Körpern als direkte Beweise für die Rotation der Erde aufstellte. Er behauptete: Wenn die Erde wirklich rotirt, so können aus großen Höhen herabfallende Körper nicht in dem lothrecht unter dem Abgangspunkte des Falles liegenden Punkte den Boden erreichen, sondern sie müssen jenem Punkte nach O. voranfallen. Denn wenn ein Körper sich etwa auf einem Thurme in beträchtlicher Höhe über dem Erdboden befindet, so theilt er die Geschwindigkeit des Thurmes; diese ist aber, weil die oberen Theile des Thurmes weiter von der Erdachse entfernt sind, und darum bei der Rotation der Erde größere Kreise zu durchlaufen haben, größer als für den Fuß des Thurmes. Da nun aber jeder Körper dem Beharrungsvermögen unterworfen ist, so muß der Körper auch während des Falles die größere Geschwindigkeit nach O. beibehalten, und darum von jenem Punkte östlich zur Erde kommen.

3. **Veranschaulichung.** *Fig. 34* möge zur Veranschaulichung des Gesagten dienen. Es stelle Kreis *E* die Erde und *ae* einen Thurm vor. Punkt *a* sei der Abgangspunkt des fallenden Körpers und *e* der lothrecht unter *a* liegende Punkt. Der Bogen *ee'* bezeichne den während der Dauer des Falls von dem Punkte *e*, und Bogen *aa'* den von dem Punkte *a* in derselben Zeit durchlaufenen Bogen. Der fallende Körper hat bei seinem Abgange von *a* und wegen des Beharrungsvermögens auch während des Falles die durch den Bogen *aa'* ausgedrückte Geschwindigkeit, und muß mithin in einem Punkte zur Erde kommen, der so weit von *e* entfernt ist wie *a* von *a'*, d. h. er muß Punkt *n* treffen, so daß etwa die Linie *an* seinen Weg zur Erde bezeichnen kann. Um das Stück *e'n* ist der Körper nach O. gefallen.

Fig. 34.



II. Beweise für die Rotation der Erde von Westen nach Osten.

1. **Fallversuche.** *Newton* theilte 1679 den 28. November seine Ansichten über die in Rede stehende Sache der Akademie der Wissenschaften in London mit, und diese beauftragte ihren Sekretair *Hooke*, einen Mann von

ungewöhnlichem Geiste, geeignete Fallversuche anzustellen; er nahm aber die Fallhöhen zu gering, so daß die Versuche kein entscheidendes Resultat liefern konnten. Allein bei diesen Versuchen kam *Hooke* zu der Ansicht, daß die Körper nicht nur nach O., sondern weil sie, von der festen Unterlage losgelöst, während des Falles bestrebt seien, in der Tangente des von ihnen durchlaufenen Kreises einherzugehen, auch etwas nach S. fallen müßten, eine Ansicht, deren Richtigkeit von *Newton* bestätigt wurde.

Um die Sache zur Entscheidung zu bringen, stellte 1791 *Guilelmini* auf dem Thurme Asinelli in Bologna Fallversuche aus einer Höhe von 241 Fuß an; allein der starke Luftzug in dem Thurme vereitelte ein gewünschtes Resultat, zumal die östliche Ablenkung für die genannte Fallhöhe nach der Theorie noch nicht ganz 4 Linien betragen konnte.

Glücklicher war *Benzenberg*, ein deutscher Mathematiker und Physiker. Im Jahre 1802 ließ er in dem Michaelsthurm zu Hamburg aus einer Fallhöhe von 235 Fuß 30 Kugeln fallen, von denen 21 eine östliche Ablenkung, und zwar von nahezu 4 Linien zeigten. Später wiederholte er diese Versuche mit noch glücklicherem Erfolge in einem 260 Fuß tiefen Kohlenschachte zu Schlehbusch in der Grafschaft Mark, und fand eine Ablenkung von etwa 5 Linien. Die Theorie hatte für die erstere Fallhöhe eine Ablenkung von 3,878 Par. Linien gefunden, so daß also zwischen ihr und der Erfahrung nur eine geringe Abweichung von 0,122 Par. Linien stattfand. Eine südliche Ablenkung war von *Benzenberg* nicht nachgewiesen worden und konnte es kaum, da sie für die obige östliche Ablenkung nur 0,0005 Linien betragen kann.

Zu den glänzendsten Resultaten kam 1832 Prof. *Reich* zu Freiberg. In dem dortigen Dreibrüderschacht stand ihm eine Fallhöhe von 488 Fuß zu gebote, und er fand als Mittel aus 106 gelungenen Versuchen eine östliche Abweichung von $12\frac{3}{5}$ Linien, ein Resultat, welches von der Theorie nur um $\frac{2}{5}$ Linien abwich. Zugleich ergab sich eine südliche Ablenkung von circa 2 Linien, die aber jedenfalls zu groß war.

Ständen uns größere Fallhöhen von 1000 und mehr Fußen zu gebote, so würden beide Abweichungen von der lothrechten Richtung sich noch augenfälliger nachweisen lassen. Für eine Höhe von 10000 Fuß z. B. würde die östliche Ablenkung 1076 Par. Linien = 7 Fuß 5 Zoll 8 Linien, die südliche aber 0,88 Linien betragen. Was die südliche Ablenkung betrifft, so kann dieselbe wegen der Richtung der Centrifugalkraft in der Tangente des durchlaufenen Kreises nur auf der nördlichen Halbkugel südlich, auf der südlichen muß sie nördlich sein, an den Polen und auf dem Aequator aber gänzlich verschwinden.

So gingen also aus jenem Streite neue Wahrheiten hervor, und die Richtung der Rotation der Erde wurde durch direkte Experimente entschieden.

2. **Die Passatwinde.** Jede Ursache, also auch die Rotation der Erde, muß ihre Wirkungen äußern. — Die Erde im grossen zeigt Erscheinungen, die jetzt als eine nothwendige Folge ihrer Rotation begriffen werden. Seit der Entdeckung Amerikas nämlich und den nach ihr beginnenden Erdumsegelungen

wurde man mehr mit dem Ocean und den auf ihm herrschenden Luftströmungen bekannt. Man fand, daß sowohl im Atlantischen als auch im Großen und zum Theil im Indischen Ocean regelmäßige, beständige Winde sich finden, die gegenwärtig von den Schiffern mit Vortheil benutzt werden. Jene Winde herrschen ungefähr zwischen den beiden Wendekreisen, und zwar auf der nördlichen Halbkugel ein beständiger Nordost-, auf der südlichen ein beständiger Südost-Wind. Die Entstehung dieser Winde mußte mit der Rotation der Erde erfolgen, wie wir in dem Folgenden kurz sehen wollen.

Die Erde ist ringsum mit Luft umgeben. Diese zeigt, wie alle Flüssigkeiten, stets das Bestreben, das in ihr durch Temperaturunterschiede gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen. Die Wärme dehnt alle Körper aus und macht sie dadurch specifisch leichter; deshalb steigt die erwärmte Luft in die Höhe, während die kältere Luft sich nach unten senkt. Sehr einfach kann man sich von dieser Thatsache überzeugen, wenn man zwischen zwei Zimmern von ungleicher Temperatur eine Thür öffnet. Nimmt man nun ein Licht und hält dasselbe nahe dem Boden, so findet man stets, daß die Flamme eine schiefe Lage annimmt, und zwar so, daß sie sich nach dem warmen Zimmer hinwendet. Führt man dagegen das Licht in die Höhe, so nimmt die Flamme allmählich eine entgegengesetzte Richtung an, indem sie sich nach dem kalten Zimmer hinwendet. Nach der Mitte der Thür zu behält die Flamme, ruhig brennend, ihre aufrechte Stellung bei. Dieser einfache Versuch zeigt zwischen den beiden ungleich erwärmten Zimmern deutlich das Vorhandensein eines zweifachen Luftstromes, eines unteren, kalten, und eines oberen, warmen, welche beide in der Richtung einander entgegengesetzt sind. Was sich hier im kleinen zeigt, findet bei der Erde im großen Maßstabe statt.

Die Wärme ist auf der Erde nicht gleichmäßig vertheilt; sie ist im allgemeinen am größten in den Aequatorialgegenden und nimmt von hier nach den beiden Polen zu allmählich ab. Die größere Erwärmung der Luft in der Nähe des Aequators macht die letztere leichter und veranlaßt so einen aufsteigenden Luftstrom oder *courant ascendant*, wie wir dergleichen über einer Lichtflamme, einem Kohlenbecken, oder im Sommer über erhitzten Sandflächen an dem eigenthümlichen Zittern der Luft häufig wahrnehmen können.

Durch das lebhafte Aufsteigen der Luft in den Aequatorialgegenden wird aber das Gleichgewicht der Luft gestört, und diese strebt sogleich darnach, es wieder herzustellen, was dadurch geschieht, daß die kältere Polarluft nahe der Erdoberfläche zum Aequator strömt. Es müssen also durch diese kältere Polarluft zwei kalte Luftströme entstehen, die nach dem Aequator gerichtet sind.

Nachdem die Heftigkeit des aufsteigenden Stromes durch Abkühlung in der Höhe nachgelassen, fließt die aufgestiegene Luft zum Theil nach N. und zum Theil nach S. ab, um die hier durch Abfließen der kälteren Luft zum Aequator entstandene Lücke auszufüllen. Auf diese Weise entstehen zwei obere, warme Luftströme, die nach den Polen gerichtet, also den genannten kalten Strömen entgegengesetzt sein müssen.

Hätte die Erde keine Achsendrehung, so würde die von den Polen kommende Luft in der Richtung der Meridiane zum Aequator strömen, also auf der nördlichen Halbkugel einen Nordwind, auf der südlichen Halbkugel einen Südwind erzeugen. Die oberen Ströme warmer Luft aber würden auf der nördlichen Halbkugel einen Südwind, dagegen auf der südlichen einen Nordwind hervorrufen. Da aber die Erde eine rotirende Kugel ist, so haben die verschiedenen Punkte derselben eine verschiedene Rotationsgeschwindigkeit. Die Luft theilt im allgemeinen die Geschwindigkeit der Punkte, über denen sie sich befindet; denn dadurch, daß sie sich in steter Berührung mit der Erde befindet, hat sie allmählich die Rotationsgeschwindigkeit derselben von W. nach O. angenommen. Die von den Polen zum Aequator strömende Luft hat aber eine geringere Geschwindigkeit nach O. als die Oerter, zu denen sie kommt; sie muß darum gegen diese Oerter nach W. zurückbleiben und von den Bewohnern derselben als ein von O. her wehender Wind empfunden werden. Da sie aber auf der nördlichen Halbkugel zugleich von Norden, auf der südlichen hingegen von Süden kommt, so muß sie sich auf der ersteren Halbkugel als ein Nordost-, auf der letzteren als ein Südost-Wind fühlbar machen.

Die vom Aequator zu den Polen fließende Luft hat eine größere Rotationsgeschwindigkeit nach O. als die Oerter, zu denen sie gelangt; sie muß daher diesen Punkten nach O. voraneilen oder als ein Westwind empfunden werden. Da sie aber für die nördliche Halbkugel zugleich von Süden, für die südliche Halbkugel von Norden kommt, so muß sie auf jener einen beständigen Südwest-, und auf dieser einen beständigen Nordwest-Wind verursachen.

Die Erfahrung bestätigt, wie schon gesagt, das Vorhandensein der bezeichneten Luftströmungen. Die zu beiden Seiten des Aequators wehenden regelmäßigen Nordost- und Südost-Winde sind unter dem Namen der Passate bekannt. Der im Atlantischen Ocean herrschende Nordost-Passat hatte nicht geringen Antheil an der Verzagtheit der Matrosen des Columbus; denn sein beständiges Wehen schien ihnen alle Hoffnung auf Rückkehr nach Europa gänzlich zu vereiteln.

Die beiden Passate werden durch eine Zone der Windstillen oder der Calmen, die etwas nördlich vom Aequator liegt, von einander geschieden. In ihnen haben jene Winde keine Macht mehr, weil diese durch das lebhafte Aufsteigen der erhitzten Luft aufgehoben wird.

Nach den Polen zu setzen die beiden oberen Ströme den Passaten ihre polaren Grenzen, indem dieselben allmählich zur Erdoberfläche herabsinken, so daß die Passate nur wenig über die Wendekreise hinausgehen. Außerhalb dieser Kreise herrschen auf beiden Halbkugeln der Erde unregelmäßige Winde, die nach einem bestimmten, vom Professor *Dove* in Berlin aufgestellten Drehungsgesetze mit einander abwechseln.

Die Anführung dieser Thatsachen muß an dieser Stelle genügen. Genaueres über die die Atmosphäre in einem beständigen Kreislaufe erhaltenden Strömungen

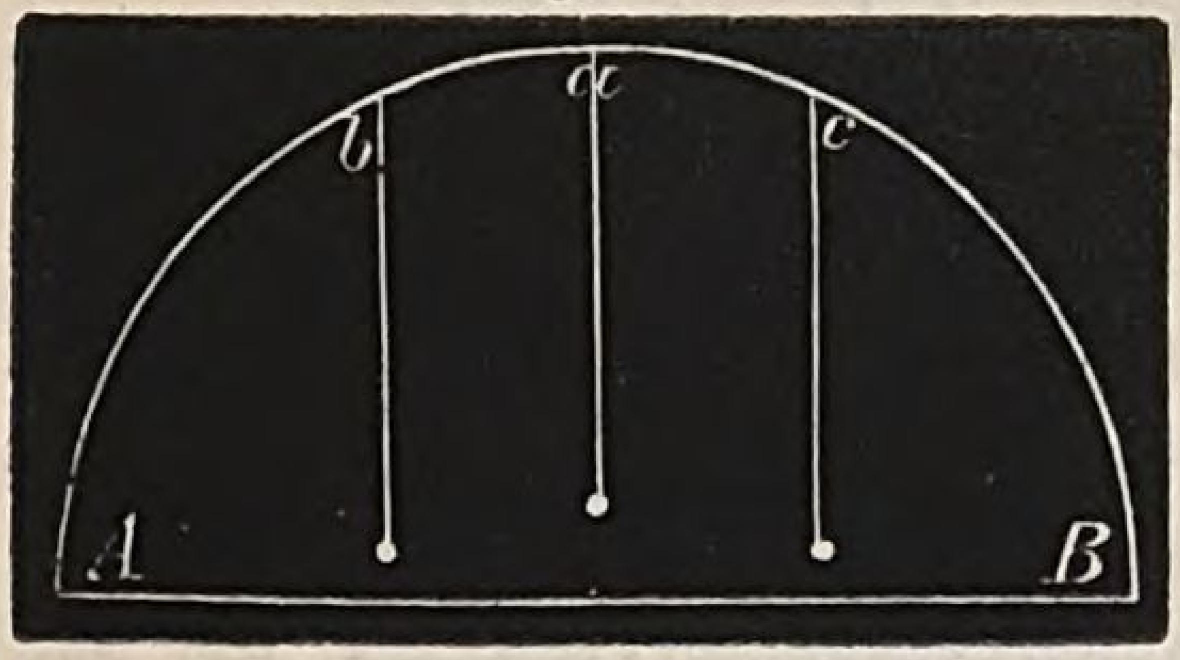
findet man in physikalischen und meteorologischen Schriften. Jedenfalls ist die Sache interessant genug, um weiter verfolgt zu werden. Durch sie erhält man wichtige Aufschlüsse über die großen klimatischen Verhältnisse der Erde. Diese in das Erdleben so tief eingreifenden Verhältnisse würden sich ganz anders gestalten müssen, wenn die Erde nicht rotirte. Die Rotation derselben erscheint somit für die Erhaltung des jetzigen Bestandes der Dinge auf ihrer Oberfläche als eine Nothwendigkeit.

3. **Foucaults Pendelversuch.** Den mitgetheilten vollgiltigen Beweisen für die Rotation der Erde von W. nach O. ist in der neusten Zeit durch Pendelversuche *Leon Foucaults* ein neuer, sehr interessanter hinzugefügt worden. Er beobachtete nämlich die Schwingungen verschiedener Pendel, zuerst die eines von 2, später die eines von 11 Mètre Länge, welches im Meridiansale der Pariser Sternwarte aufgehängt, und endlich die eines von 67 Mètre Länge, das an der Decke des Pantheons zu Paris so befestigt war, daß es nach allen Richtungen frei schwingen konnte. Der schwingende Körper war eine schwere, mit einer Drahtspitze versehene Metallkugel von gleichmäßiger Dichtigkeit, und als Faden diente ein Eisendraht. Nachdem dieses Pendel mittels einer an einem Faden befestigten Schlinge um einen Winkel von etwa 15 bis 20° aus der vertikalen Lage gebracht worden und durch Befestigung des Fadens an der Wand in dieser Lage zur Ruhe gekommen war, wurde der Faden abgebrannt; die Schlinge fiel herunter, und das Pendel begann seine Schwingungen. Durch das Abbrennen des Fadens sollte verhindert werden, daß das Pendel einen seitlichen Stoß erhalte, was beim Erfassen der Kugel mit der Hand nicht gut zu vermeiden ist. Das Pendel schwang nun in einer vertikalen Ebene, und die Kugel machte den Bogen eines Kreises. Bei erfolgtem seitlichen Stoße macht sie eine Ellipse.

Das schwingende Pendel zeigte nun die merkwürdige, schon im Jahre 1661 zu Florenz bei Pendelversuchen beobachtete, aber damals nicht erklärte Erscheinung, daß es nicht immer zu denselben Punkten der Wand gerichtet blieb, sondern daß seine Schwingungsebene sich von O. nach W. zu drehen schien. In einer halben Stunde war die westliche Ablenkung bereits mehr als 5°. *Foucault* erklärte diese Erscheinung für einen direkten, augenscheinlichen Beweis der Rotation der Erde von W. nach O. Die Sache erregte zu Anfang des Jahres 1852 großes Interesse, und ähnliche Pendelversuche wurden unter andern im Cölner Dom, in Berlin und in vielen andern Städten mit gleichem Erfolge wiederholt. Doch zeigt sich für verschiedene Oerter eine verschiedene Größe der Ablenkung; denn während dieselbe in P a r i s in einer Stunde nahezu $11{,}^{0}{}_{3}$ betrug, ist sie in B e r l i n in derselben Zeit $11^{0}{,}_{9}$, in P e t e r s b u r g $12^{0}{,}_{9}$, in R o m dagegen nur $10^{0}{,}_{02}$, in C a i r o nur $7^{0}{,}_{5}$ u. s. w. Man sieht also, daß die Entfernung des Beobachtungsortes vom Aequator oder seine g e o g r. B r e i t e auf die Ablenkung von Einfluß ist. Am Aequator zeigt sich gar keine Abweichung; an den Polen würde sich eine solche von 360° in 24 Std. zeigen, so daß sich also hier in dieser Zeit die Schwingungsebene um volle 360° gedreht hätte.

Zum Verständnis der Sache möge das Folgende beitragen. Bekanntlich kommt ein nicht schwingendes Pendel in der Vertikale zur Ruhe; in Bewegung gesetzt, beschreibt es in einer durch die Vertikale gehenden Ebene seine Schwingungen. Diese Ebene wird die Schwingungsebene des Pendels genannt, die in allen Gegenden der Erde durch jene Linie geht. Da nun alle Dinge wegen des Beharrungsvermögens in dem Zustande, in welchem sie sich einmal befinden, zu verbleiben trachten, so muß ein in einer bestimmten Richtung schwingendes Pendel das Bestreben haben, stets in derselben absoluten Richtung im Raume fortzuschwingen, wenn anders nicht ein äußerer Einfluß es daran hindert. Dies ist selbst dann der Fall, wenn der Aufhängepunkt des Pendels sich um sich selbst dreht oder einen Kreis beschreibt, vorausgesetzt, daß der Pendelfaden in ihm so befestigt ist, daß er sich frei drehen kann. Man kann sich von dem Gesagten, wenigstens im großen Ganzen, überzeugen, wenn man etwa, *Fig. 35*, einen großen Bügel *A a B*, nimmt, und in mehreren Punkten desselben ein kleines Pendel an einem leicht drehbaren Faden befestigt. Dreht man nun, nachdem man das Pendel in irgend einer Richtung vorsichtig in Bewegung versetzt hat, den Bügel, etwa auf der glatten Fläche eines Tisches, recht behutsam herum, so wird man das Pendel sowohl in *a*, wo sich der Aufhängepunkt um sich selbst dreht, als auch in *b* und *c*, wo er einen Kreis beschreibt, dieselbe Richtung im Raume beizubehalten bestrebt sehen. Der Versuch gelingt um so sicherer, je schwerer die Kugel ist.

Fig. 35.



Dies vorausgeschickt, wollen wir uns ein Pendel in dem Nordpole der Erde so aufgehängt denken, daß sein Aufhängepunkt in der Verlängerung der Erdachse, das Pendel in der Ruhelage also in der Verlängerung der Achse liegt. Versetzt man nun das Pendel in der oben bezeichneten vorsichtigen Weise in Bewegung, so wird man, da die Schwingungsrichtung desselben dieselbe bleibt, die Erde sich aber von W. nach O. unter der Schwingungsebene des Pendels dreht, diese scheinbar von O. nach W. sich drehen sehen. Könnte man ein Pendel construiren, das seine Schwingungen einen ganzen Tag lang fortsetzte, so würde nach 24 Stdn. die Schwingungsebene wieder dieselbe Lage zu den Dingen auf der Erdoberfläche, oder in der Nacht zu den Fixsternen, angenommen haben, die es anfangs hatte, oder scheinbar eine ganze Drehung um sich selbst von O. nach W. vollendet haben. Man kann sich die Sache dadurch veranschaulichen, daß man eine kleine Pappscheibe, die den Horizont vorstellen soll, mittelst einer senkrecht hindurchgesteckten Nadel, welche die Richtung der Vertikallinie andeutet, in dem Nordpol eines Erdglobus befestigt. Dreht man nun den Globus von W. nach O. herum, so wird man den Horizont bei jeder Drehung sich um die Vertikale drehen und jeden Punkt des Horizontes 360^{0} beschreiben sehen. Es ist darum leicht einzusehen, warum an den Polen das absolut in seiner Anfangsrichtung verharrende Pendel in je 24 Stunden

(Sternzeit) eine volle Drehung von O. nach W. zu vollbringen scheinen muß. Auf diese Weise wäre es sehr leicht, an den Polen eine natürliche Uhr zu construiren. Man hätte nur um den Pol als Mittelpunkt einen Kreis zu zeichnen und diesen in 24 gleiche Theile, den Stunden des Tages entsprechend, zu theilen. Die Spitze des Pendels würde dann als Stundenzeiger dienen.

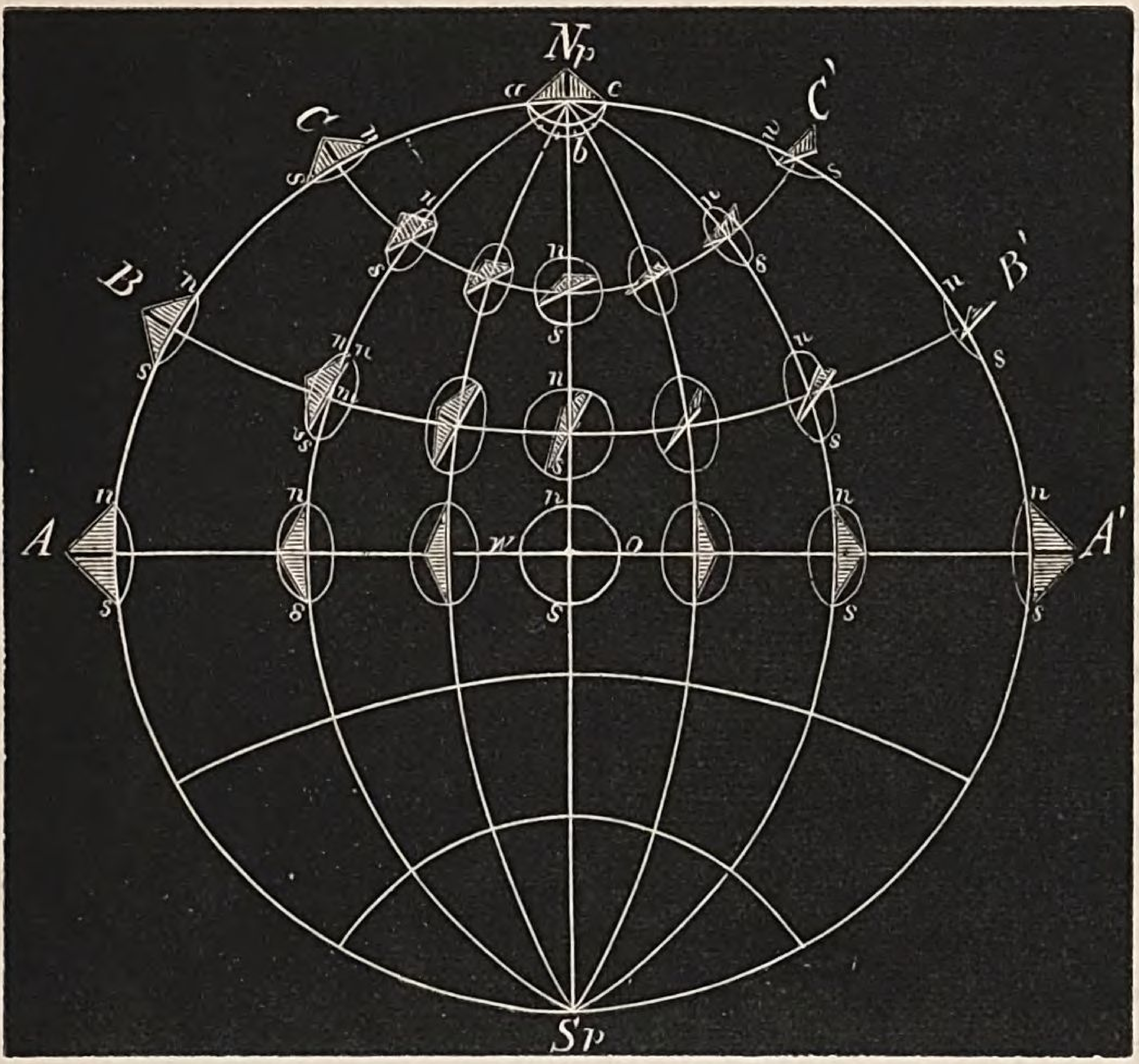
So einfach, wie an den Polen, gestalten sich in den mittleren Breiten die Verhältnisse aber nicht. Hier macht die Vertikale, durch welche die Schwingungsebene des Pendels geht, mit der Rotationsachse der Erde einen Winkel, der um so größer wird, je weiter man sich von den Polen entfernt, bis er am Aequator zu einem rechten wird. Bei der Rotation der Erde aber beschreibt die Vertikale der zwischen dem Aequator und den beiden Polen liegenden Beobachtungsörter den Mantel eines Kegels, dessen Spitze im Erdmittelpunkte liegt, und der um so stumpfer wird, je mehr man sich dem Aequator nähert. Auf dem Aequator selbst fällt die Vertikale stets mit der Ebene des Aequators zusammen, ohne einen Kegel zu durchlaufen. Hierdurch aber und durch die damit verbundene eigenthümliche Lage des Horizontes treten für die Ablenkung des Pendels ganz eigenthümliche Verhältnisse ein.

Die Hauptfrage, auf deren Beantwortung es eigentlich allein ankommt, ist die: Wieviel dreht sich bei der Achsendrehung der Erde der Horizont des Beobachtungsortes um seine Vertikallinie? Bei den Polen war es, wie wir gesehen haben, eine ganze Drehung in 24 Std. Wie gestaltet sich die Sache am Aequator? Hier bleibt die Vertikale stets in der Ebene dieses Kreises, da sie rechtwinklig auf der Drehungsachse der Erde steht. Beachtet man aber die Richtung der Meridiane, so können dieselben (in kleinen Theilen), eben so wie die Mittagslinien aller Horizonte auf dem Aequator, als mit einander parallel laufend angesehen werden, wie aus der *Fig. 36* an den Mittagslinien *ns* der kleinen gezeichneten Horizonte erkannt werden kann. Bei der Achsendrehung der Erde beschreiben sämtliche Mittagslinien den Mantel eines Cylinders. Dabei findet aber, wie leicht einzusehen ist, keine Drehung des Horizontes um die Vertikale statt, vielmehr ist die ganze Drehung des Horizontes am Aequator als eine Drehung um die Mittagslinie zu betrachten. Ein am Aequator schwingendes Pendel kann demnach keine Abweichung zeigen, sondern muß stets nach derselben Himmelsgegend gerichtet bleiben.

Anders verhält sich die Sache zwischen dem Aequator und den Polen, wo die Drehung des Horizontes eine zusammengesetzte, nämlich zum Theil eine Drehung um die Mittagslinie, zum Theil eine Drehung um die Vertikale ist. Erstere Bewegung überwiegt nach dem Aequator zu, bis sie auf diesem allein übrigbleibt; letztere wächst mit der Annäherung an die Pole, woselbst sie nur noch allein vorhanden ist.

Daß in den Gegenden zwischen dem Aequator und den Polen überhaupt eine Abweichung des Pendels sich bemerklich machen muß, ist sehr leicht einzusehen. Schreiten nämlich die Mittagslinien aller Oerter des Aequators sich

Fig. 36.



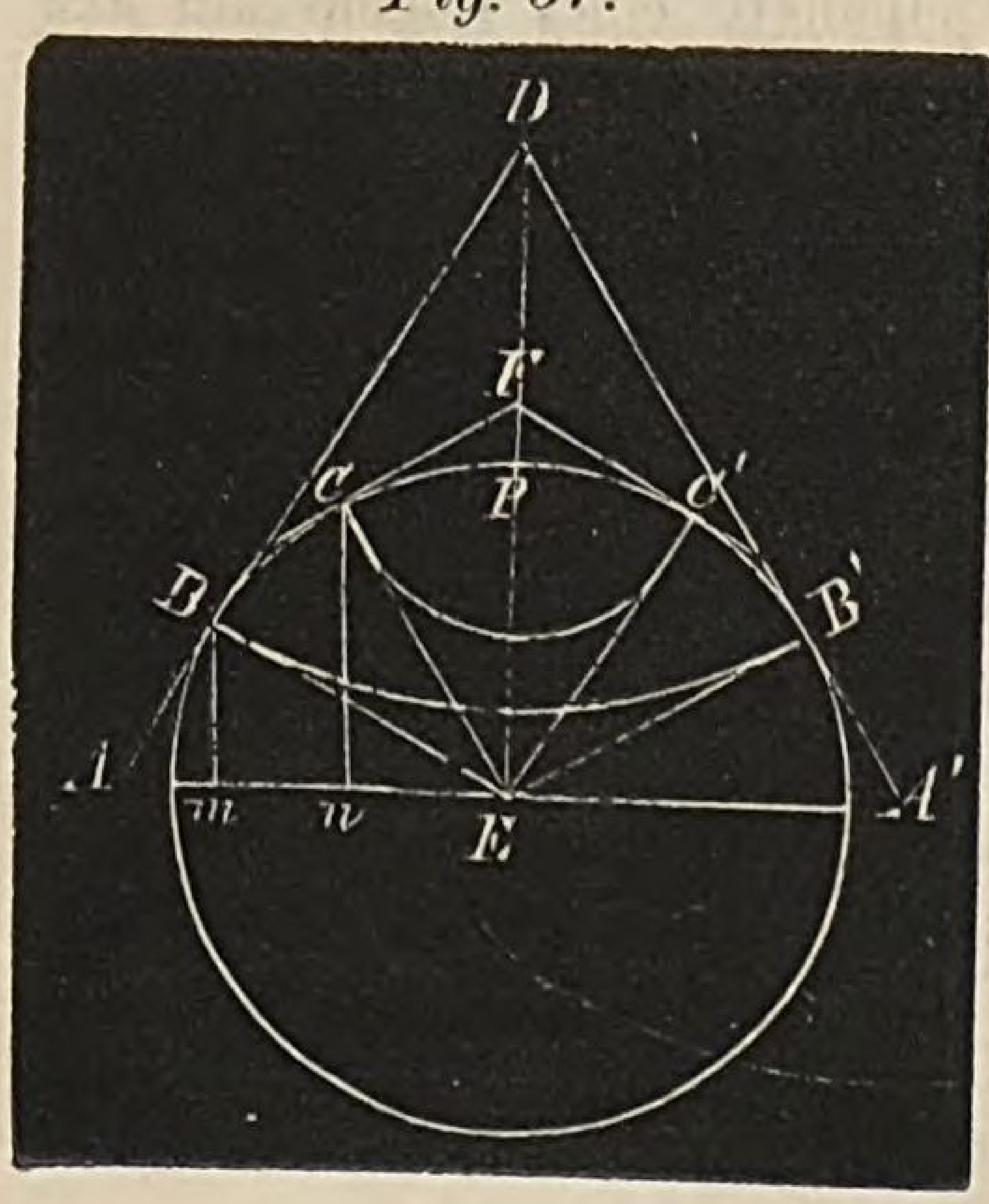
selbst parallel fort, so ist dieses für die vom Aequator entfernten Gegenden nicht mehr der Fall, da ja alle Meridiane nach den Polen zu convergiren, und dies um so mehr, je näher man den Polen kommt. Hätte man also an irgend einem Orte ein Pendel in der Richtung der Mittagslinie, also von N. nach S., anschwingen lassen, so muß allmählich, da die Schwingungsrichtung desselben stets dieselbe bleibt, eine Ablenkung des Pendels sichtbar werden. Es kann dies aus der *Fig. 36* leicht ersehen werden. Es ist in derselben die Schwingungsrichtung und die Lage der Schwingungsebene des Pendels an den kleinen über den Horizonten gezeichneten Dreiecken zu erkennen, und zugleich ist in diesen letzteren die Lage der Vertikale durch einen stärkeren Strich markirt worden. Nehmen wir an, das Pendel sei in dem Punkte *B* des 30sten Parallelkreises *BB'* in der Richtung der Mittagslinie *ns* in Bewegung gesetzt worden, so muß es, nachdem es durch die Drehung der Erde 30° weiter nach O., nach *m*, gekommen ist, bereits eine merkliche Ablenkung von der Mittagslinie zeigen, da die Mittagslinie nicht sich selbst parallel fortgeschritten ist, wohl aber die Schwingungsrichtung des Pendels in *m*, nämlich *uv*, noch der vorigen Richtung in *B* parallel ist. Die Abweichung würde durch den Winkel *umn* oder den ihm gleichen *smv* gemessen werden. Je weiter das Pendel nach Osten kommt, desto größer wird die Ablenkung der Pendelrichtung von der Mittagslinie, was unmittelbar aus der Figur ersehen werden kann; in *B'* würde das Pendel bereits von W. nach O. schwingen, und seine Schwingungsrichtung mit der Mittagslinie einen rechten Winkel bilden.

Vergleicht man die Ablenkung des Pendels auf dem eben besprochenen 30sten mit der auf dem 60sten Parallelkreise CC', so wird man hier auf den entsprechenden Punkten eine weit beträchtlichere Ablenkung des Pendels wahrnehmen; war diese in B' ein rechter, so ist sie in C' bereits ein stumpfer Winkel.

Es entsteht nun aber die Frage: Welchen Werth hat die Ablenkung des Pendels in verschiedenen Breiten? Hierauf wird uns folgende Betrachtung zu einer Antwort führen. Wie schon gesagt, ist die Größe der Ablenkung des Pendels bedingt durch die Größe der Drehung des Horizontes um die Vertikale; diese giebt sich aber unter andern in der veränderten Lage der Mittagslinie zu erkennen. Beschreibt am Aequator die Mittagslinie bei der Rotation der Erde den Mantel eines Cylinders, wobei sie sich stets parallel fortschreitet, so macht sie zwischen dem Aequator und den Polen den Mantel eines **Kegels**, dessen Spitze in der verlängerten Erdachse liegt, und der um so stumpfer wird, je näher man den Polen kommt. An diesen selbst liegt die Spitze des Kegels in der Grundfläche, oder was dasselbe ist, die Mittagslinie beschreibt die Ebene eines Kreises. Darum beträgt hier auch die Ablenkung des Pendels in 24 Stdn. volle 360°; denn die ganze Drehung des Horizontes ist eine Drehung um die Vertikale.

Denkt man sich den Mantel eines Kegels abgewickelt, so erhält man bekanntlich einen Kreisausschnitt, d. i. einen Theil einer Kreisebene, der von zwei Radien und einem Theil der Peripherie des gedachten Kreises begrenzt wird, welcher Theil die Grundfläche des Kegels umschließt. Es ist bekannt oder doch leicht einzusehen, daß der Kreisausschnitt ein um so größerer Theil des gedachten Kreises ist, je stumpfer der Kegel, und umgekehrt, daß er um so kleiner, je spitzer der Kegel ist. Denkt man sich den von den Mittagslinien der zwischen dem Aequator und den Polen liegenden Horizonte beschriebenen Kegelmantel zu einem Kreisausschnitte abgewickelt, so mißt dieser letztere oder die Peripherie desselben die Drehung des Horizontes um die Vertikale und somit die Ablenkung des Pendels; denn der sovielste Theil der Kreisausschnitt von dem zugehörigen Kreise ist, der sovielste Theil ist die Ablenkung des Pendels in 24 Stdn. von 360°.

Fig. 37.



In 30° nördlicher Breite würde eine Mittagslinie, *Fig. 37*, den Mantel des Kegels BDB' beschreiben. In diesem ist der Winkel an der Spitze, den zwei entgegengesetzte Seitenlinien des Kegels mit einander bilden, $= 60°$; denn Winkel $DBE = 90°$, Winkel $BED = 60°$, folglich Winkel $BDE = 30°$. Da aber $B'DE$ ebenfalls $= 30°$, so ist Winkel $BDB' = 60°$. Bei einem solchen Kegel ist der abgewickelte Kegelmantel ein Halbkreis, und darum beträgt

in 30° Breite die Ablenkung des Pendels in 24 Stdn. $^{360}/_{2}{}^{0} = 180^{0}$, so daß also hier 48 Stdn. nöthig wären, damit das Pendel eine ganze scheinbare Umdrehung vollende.

Fällt man sich von dem Punkte *B* aus das Loth *Bm* auf die Ebene des Aequators *AA'* herab, so ist dieses Loth ½ des Erdhalbmessers *EP*; es steht also in demselben Verhältnis zu dem Erdhalbmesser, wie der Kreisausschnitt des gedachten Kegels *BDB'* zu dem ganzen zugehörigen Kreise. Dieses Loth ist aber nichts anders als der Sinus*) des Winkels *AEB*, welcher Winkel die geographische Breite des Ortes *B* mißt. Und in allen Fällen bestimmt die Größe des Sinus der geograghischen Breite die Ablenkung des Pendels für den entsprechenden Ort, so daß als Gesetz ausgesprochen werden kann: Die Ablenkung des Pendels in verschiedenen Breiten ist dem Sinus dieser Breiten proportional.

Den Werth des Sinus für verschiedene Winkel findet man in sogenannten Sinustafeln berechnet; es ist derselbe für einen Winkel von:

5°	= 0,087	50°	= 0,766
10	= 0,173	60	= 0.866
20	= 0,342	70	= 0,939
30	= 0,500	80	= 0,985
40	= 0,643	90	= 1,000

Will man für irgend einen Ort der Erde die Zahl der Stunden finden, in welcher ein freischwebendes Pendel eine ganze Drehung vollenden würde, falls es lange genug schwänge, so dividirt man mit dem Sinus des Winkels, welcher der geographischen Breite jenes Ortes gleich ist, in 24 Stdn., und will man andererseits die Ablenkung des Pendels in 24 Stdn. bestimmen, so multiplicirt man 360° mit dem Sinus der Breite des betreffenden Ortes. Hat man dies gefunden, so ist es leicht, daraus die stündliche etc. Ablenkung des Pendels zu erhalten.

*) Denkt man sich in einem Kreise von dem Endpunkte eines Bogens auf den zum Anfangspunkte desselben gezogenen Halbmesser ein Loth gefällt, so heißt dieses Loth der Sinus des Bogens oder desjenigen Winkels im Mittelpunkte des Kreises, der durch den Bogen gemessen wird. Man sieht leicht ein, daß der Sinus zunächst um so größer wird, je größer der Winkel wird. Am größten ist er indes für einen rechten Winkel, nämlich gleich dem Halbmesser des Kreises. Wird der Winkel ein stumpfer, so fällt jenes Loth außerhalb des Winkels auf die Verlängerung des zum Anfangspunkte des Bogens gehenden Halbmessers, und der Sinus wird mit dem Wachsen des Winkels kleiner und kleiner, bis er für einen Winkel von 180° = 0 ist, wie für einen Winkel von 0°.

Die Größe des Sinus pflegt stets im Verhältnis zum Halbmesser des Kreises angegeben zu werden; er ist also gleichsam ein Bruch, dessen Zähler jenes Loth und dessen Nenner der Halbmesser des Kreises ist. Für einen Winkel von 30°, wie in dem obigen Falle der Sinus des Winkels *AEB*, ist derselbe = ½, für einen rechten Winkel = 1, d. i. gleich dem Halbmesser.

Die folgende Uebersicht giebt die eben genannten Größen für einige Oerter der Erde.

Ort.	Geograph. Breite.	Zeit einer ganzen Drehung.	Drehung in 24 Stdn.	Drehung in 1 Std.
Pol	90° 0′ 0″	24,00 Std.	360°	15°
Petersburg	59 26 31	27,89	309,99	12,91
Königsberg	54 42 50	29,42	293,86	12,45
Berlin	52 31 12	30,24	285,68	11,90
Wien	48 12 34	32,19	268,41	11,18
Rom	41 54 8	35,93	240,43	10,02
Cairo	30 2 4	47,95	180,18	7,51
Calcutta	22 33 11	62,57	138,07	5,75
Caracas	10 30 50	131,52	65,69	2,73
Cayenne	4 56 28	278,64	31,01	1,29

Hiermit beschließen wir die Beweise für die Rotation der Erde. Den mitgetheilten Thatsachen und Beweisen gegenüber ist es unmöglich, an derselben noch zu zweifeln, und gegenwärtig dürfte es kaum einen vorurtheilsfreien Gebildeten geben, der dieselbe noch leugnete.

So zeigt auch diese Thatsache, daß die Wahrheit stärker ist als die eingewurzeltesten Vorurtheile, und daß nichts sie in ihrem Siege aufzuhalten vermag, wenn dieser auch oft erst nach langen Kämpfen errungen wird.

Viertes Kapitel.

Erklärung der scheinbaren Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen durch die Rotation der Erde.

I. Im allgemeinen.

In diesem Kapitel wollen wir sehen, in wieweit die besprochenen Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen in der Rotation der Erde ihre einfache und natürliche Erklärung finden.

1. **Rotationsgeschwindigkeit der Erde.** Die Erde vollendet ihre Rotation natürlich in derselben Zeit, in welcher der Himmel mit seinen Fixsternen sich einmal um die Erde herumgeschwungen zu haben scheint, nämlich in der Dauer eines Sterntages oder in 24 Stdn. Sternzeit. In dieser Zeit durchläuft also jeder Punkt der Erdoberfläche, mit alleiniger Ausnahme der beiden Pole, einen ganzen Kreis oder 360°, mithin in einer Std. (Sternzeit) $^{360}/_{24}{}^{0} = 15^{0}$, und in $^{1}/_{15}$ Std. oder in je 4 Min. daher 1^{0}.

Die Achsendrehung der Erde ist eine vollkommen gleichmäßige Be-

wegung, so daß in gleichen Zeittheilen von jedem einzelnen Punkte der Erdoberfläche gleiche Wege zurückgelegt werden, und wie schon angedeutet, hat sich die Rotationszeit der Erde im Laufe von einigen Jahrtausenden nicht um $^1/_{100}$ einer Zeitsekunde weder beschleunigt noch verzögert. Sie scheint in dem beständigen Wechsel, dem wir überall begegnen, allein etwas Unveränderliches zu sein. Darum bildet die Rotation der Erde mit Recht die Grundlage unserer Zeitrechnung.

Die Rotationsgeschwindigkeit ist aber für verschiedene Punkte der Erdoberfläche eine sehr verschiedene; denn wenn auch von jedem Punkte in je 4 Min. 1° zurückgelegt wird, so sind doch diese Grade für verschiedene Parallelkreise von sehr verschiedener Größe. Die größte Geschwindigkeit besitzen die Punkte des Erdäquators. Ein Grad desselben ist nach S. 94 = 15 geogr. Meilen = 57108,5194 Toisen, und diese werden in je 4 Min. durchlaufen.

In 1 Std. werden daher 225 geogr. Mln. = 856627,7911 T.
» 1 Min. » » $3^3/_4$ » » = 14277,1298 T.
» 1 Sek. » » $^1/_{16}$ » » = 237,9521 T. = 1427,7126 Preuß. Fuß
von jedem Punkte des Aequators zurückgelegt.

Dies ist immerhin eine bedeutende Geschwindigkeit, welche die des stärksten Orkans, 120 Fuß in der Sek., fast um das 12 fache, die des Schalles, 1050 Fuß in der Sek., nahe $1^1/_3$ mal übertrifft und etwa der einer Büchsenkugel gleichkommt. Nach den Polen zu verkleinert sich die Rotationsgeschwindigkeit mit den Parallelkreisen, und es kann diese Geschwindigkeit leicht aus der Größe der Grade in den verschiedenen Parallelkreisen, wie sie in folgender Zusammenstellung angegeben worden, für irgend eine Zeiteinheit berechnet werden.

Parallelkreis.	Länge d. Grade in geogr. Mln.	Parallelkreis.	Länge d. Grade in geogr. Mln.
0 Aeq.	15,000	50	9,661
5	14,943	55	8,623
10	14,773	60	7,519
15	14,492	65	6,357
20	14,101	70	5,146
25	13,603	75	3,895
30	13,002	80	2,613
35	12,301	85	1,312
40	11,507	90	0,000
45	10,625		

2. Die scheinbare Rotation des Fixsternhimmels. Die rotirende Erde haben wir uns nach dem Früheren in dem Mittelpunkte der unbeweglich zu denkenden Himmelskugel, beide Kugeln also als concentrische Kugeln vorzustellen. Indem sich nun die Erde von W. nach O. um die Achse dreht und jeder Punkt derselben, mit Ausnahme der Pole, seine Lage zu den festen

Punkten des Himmels stetig ändert, so muß es uns nothwendig scheinen, als rotire täglich der ganze Himmel von O. nach W. um die scheinbar ruhende Erde. Sehen wir auf der Erde doch täglich ähnliche Erscheinungen. In einem sanft dahingleitenden Kahne scheinen uns Bäume und andere feste Gegenstände am Ufer in Bewegung begriffen zu sein, und zwar in einer Richtung, die der unsrigen im Kahne entgegengesetzt ist, und täglich können wir auf den Eisenbahnen ähnliche Erfahrungen machen. Fahren wir in einem Carrousel von W. nach O. im Kreise herum, so scheinen, namentlich wenn wir uns dem Sinneseindrucke überlassen und uns nicht beständig an unsere eigene Bewegung erinnern, die Dinge der festen Umgebung uns von O. nach W. zu umkreisen, und nach jeder vollen Umdrehung nehmen wir wieder dieselbe Lage zu jenen Dingen an. Die Zeit einer wirklichen Umdrehung ist also auch die einer scheinbaren. Ist ferner die wirkliche Bewegung gleichmäßig, so muß auch die scheinbare sich als gleichmäßig darstellen, und umgekehrt müssen wir von einer gleichmäßigen scheinbaren Bewegung auf eine gleichmäßige, sie veranlassende wirkliche Bewegung schließen. Nun ist die Bewegung der Fixsterne vollkommen gleichmäßig, und darum muß es auch die der Erde sein. Diese Gleichmäßigkeit und die dadurch bewirkte Sanftheit der Bewegung sind es besonders, die uns von derselben nichts empfinden lassen.

Die Rotation des ganzen Fixsternenhimmels von O. nach W. ist also eine natürliche Folge der Rotation der Erde von W. nach O.

In je 4 Min. Sternzeit legt jeder Punkt der Erdoberfläche 1^0 zurück; in dieser Zeit schreitet darum mit dem Horizonte eines Ortes auch dessen Meridian, da die Ebene dieses durch die Rotationsachse geht, 1^0 von W. nach O. fort und bewegt sich fortwährend neuen Sternen zu, so daß also eigentlich die Sterne nicht in den Meridian treten, sondern dieser in die Sterne tritt, um sie culminiren zu machen. Nach 4, 8, 12, 16 Min., von einem bestimmten Zeitpunkte an gerechnet, culminiren für einen Ort der Erde daher Sterne, die resp. 1, 2, 3, 4 ^{0} von den in jenem Zeitpunkte culminirenden Sternen nach O. entfernt sind. Hieraus folgt aber auch von selbst, daß für zwei verschiedene Oerter der Erde, die von einem gewissen Anfangsorte 1, 2, 3, 4 ^{0} weiter nach O. liegen, ein bestimmter Fixstern resp. 4, 8, 12, 16 Min. früher culminirt als an dem Anfangsorte. Es lassen sich somit zwei Aufgaben einfach lösen, einmal: bei bekannter Differenz der Culminationszeit desselben Fixsterns für zwei Oerter die ost-westliche Entfernung dieser Oerter in Graden, sodann: bei bekannter ost-westlicher Entfernung zweier Oerter der Erde die Differenz der Culminationszeit desselben Fixsterns zu bestimmen. Im ersteren Falle hätte man die in Minuten ausgedrückte Zeitdifferenz nur mit 4 zu dividiren, um die Anzahl der Grade für die Entfernung, im letzteren Falle die Anzahl der Grade für die Entfernung nur mit 4 zu multipliciren, um die Zeitdifferenz in Minuten zu erhalten. Die erstere Aufgabe ist die wichtigste; sie hat oft gelöst werden müssen, ehe es gelungen, die Lage der Oerter auf der Erde zu bestimmen, und wir werden später noch einmal darauf zurückkommen.

Da aber nicht nur der Meridian, sondern mit ihm auch der ganze Horizont von W. nach O. fortschreitet und beständig andere Lagen inmitten der Himmelskugel annimmt, so müssen am östlichen Himmel beständig neue Sterne erscheinen oder aufgehen, während am westlichen Himmel bisher gesehene Sterne scheinbar unter den Horizont sinken oder untergehen. Man würde aber sehr irren, wenn man meinte, daß jeder Stern, der 4 Min. später durch den Meridian geht als ein anderer, auch 4 Min. später auf- oder untergehe als dieser; dies ist nur auf dem Erdäquator der Fall, oder wenn die Sterne im Aequator des Himmels stehen. Es ist hierbei die Lage des Horizontes zu den Deklinationskreisen des Himmels und die eigenthümliche Bewegung des ersteren in verschiedenen Breiten in betracht zu ziehen. Man denke an das S. 110 bis 112 über den Gegenstand Gesagte.

3. **Die Bewegung der Sonne.** Nach dem Vorstehenden wird es überflüssig sein noch nachzuweisen, wie auch die Sonne wegen der Rotation der Erde täglich von O. nach W. einen Tagkreis zu durchlaufen scheinen muß. Allein die Zeit der Rotation der Erde ist nicht auch die Dauer eines wahren Sonnentages (S. 31); dies würde nur dann der Fall sein, wenn die Sonne stets dieselbe Stellung zu den Fixsternen beibehielte, was jedoch, wie wir bereits wissen, nicht der Fall ist. Wir haben an ihr eine tägliche, von O. nach W., und eine jährliche, von W. nach O. gerichtete Bewegung kennen gelernt. Aus der Rotation der Erde ist nur die tägliche, nicht aber auch die jährliche Bewegung der Sonne erklärbar. Wir werden deshalb nach der wahren Ursache dieser letzteren Bewegung noch zu forschen haben.

Entstehung der Tageszeiten. Die Erde ist ein Planet, d. i. ein von Natur dunkler Körper, der sein Licht von der Sonne empfängt. Die Sonne erleuchtet stets die ihr zugewandte Hälfte der Erde. Da, wo Licht und Schatten sich berühren, kann man sich einen Kreis denken, den wir die Lichtgrenze nennen wollen. Wäre die Erde nicht mit einer Atmosphäre umgeben, so würde diese Lichtgrenze einmal nahezu ein größter Kreis der Erde, außerdem aber scharf begrenzt sein, so daß Licht und Schatten scharf von einander geschieden wären, wie wir es z. B. bei dem Monde wahrnehmen. Dies ist indessen bei der Erde wegen der Atmosphäre nicht der Fall. Wir haben diese bereits als die Ursache der astronomischen Refraction (S. 68) und deren Größe am Horizonte = 33′ kennen gelernt. Hierdurch wird der erleuchtete Theil rings herum um mehr als $^1/_2{}^0$ vergrößert, so daß 0,50436 der ganzen Erdoberfläche Sonnenschein haben. Außerdem ist die Atmosphäre die Veranlassung der Dämmerung (S. 25 ff.). Sie pflanzt das Sonnenlicht durch Reflexion noch 18^0 weit in die dunkle Seite der Erde hinein fort, so daß der direkt beleuchtete Theil der Erde von der 18^0 breiten Dämmerungszone umgeben ist. Für ein Auge auf einem fernen Standpunkte muß daher die Lichtseite der Erde in die Schattenseite hinein verwaschen erscheinen, wie dies bei allen mit Atmosphären umgebenen Himmelskörpern der Fall ist. Da die Dämmerungszone 0,154508 der Erdoberfläche einnimmt, so haben nur 0,345492 oder etwa $^{100}/_{289}$ der Erdoberfläche wirkliche Nacht.

Der von den meisten Oertern der Erde bei der Rotation derselben beschriebene Parallelkreis (Tagkreis) liegt zum Theil, als Tagbogen, in der Licht-, zum Theil, als Nachtbogen, in der Schattenseite der Erde. Ständen Erde und Sonne still, so könnte ein Wechsel der Tageszeiten unmöglich stattfinden; die eine Hälfte der Erde würde beständigen Tag, die andere fortwährende Nacht haben. Die Rotation der Erde bewirkt aber den täglichen Wechsel zwischen Tag und Nacht. — Tritt unser Horizont, indem er sich der Lichtgrenze nähert, am frühen Morgen in die Dämmerungszone, so beginnt im Osten der Tag zu grauen; in dem Momente aber, in welchem die Lichtgrenze selbst erreicht ist, werden die ersten Strahlen der Sonne sichtbar: sie geht auf, und zwar in der Ostgegend des Horizontes. Bei fortgesetzter Drehung der Erde neigt sich gleichsam der östliche Horizont unter die Sonne, und diese scheint daher im Laufe des Vormittags zu steigen. Sind wir in dem Mittelpunkte unseres Tagbogens angelangt, so ist es Mittag; die Sonne steht am höchsten über dem Horizont und ist vom Ost- und Westpunkte desselben gleichweit entfernt. Mit uns zugleich Mittag haben alle diejenigen Oerter, welche auf einem Halbkreise liegen, der vom Nord- zum Südpol geht und Mittagskreis oder Meridian genannt wird. — Während des Nachmittags nähert sich die Westseite des Horizontes der Sonne, bis endlich am Abend, wenn wir wieder auf der Lichtgrenze sind, der Horizont die Sonne erreicht und diese scheinbar untersinkt. Dem Sonnenuntergange folgt die Zeit der Abenddämmerung, welche so lange währt, als unser Horizont in der Dämmerungszone verweilt. Haben wir den Mittelpunkt des Nachtbogens erreicht, so ist Mitternacht, und die Sonne steht am tiefsten unter unserm Horizonte. Von nun an nähert sich die Ostseite des Horizontes wieder der Sonne, bis sie am nächsten Morgen in der angedeuteten Weise wieder aufgeht.

Daß in unsern Breiten die Tagkreise der Sonne schief gegen den Horizont liegen, ist sehr begreiflich, da unser Horizont schief gegen die Ebenen der Parallelkreise liegt. Auf den Polen der Erde ist der Horizont, weil senkrecht zur Achse, parallel mit den Parallelkreisen, in Berlin, das $37^1/_2{}^0$ vom Nordpol entfernt ist, macht er mit diesen Kreisen einen Winkel von $37^1/_2{}^0$; unter diesem Winkel müssen daher die Tagkreise von Sonne, Mond und Sternen am genannten Orte gegen den Horizont geneigt sein.

Daß die Sonne an jedem Tage einen andern Tagkreis zu durchlaufen scheint, daß sie in der Ekliptik hinauf- und hinabsteigt, ist indes, wie schon angedeutet, aus der Rotation der Erde allein nicht zu erklären.

Veränderliche Lage des Horizontes. Bei der Rotation der Erde verändert der Horizont fortwährend seine Lage im Raume, und zwar in einer bei der Besprechung des Foucaultschen Pendelversuches näher angegebenen Weise. Es wird gut sein, hieraus noch einen Satz in Beziehung auf die Himmelsgegenden abzuleiten.

Bei der Rotation der Erde wendet der Horizont seine verschiedenen Himmelsgegenden beständig andern Punkten des Weltraumes zu. Wir erkennen dies

unter andern an dem beständigen Auf- und Untergange anderer Sterne. Vergleicht man nur zwei Lagen des Horizontes, die am Mittage mit der um Mitternacht eines Tages mit einander, so wird man erkennen, daß z. B. die Ostseite des Horizontes am Mittage nach einer Gegend des Himmels gerichtet ist, wohin um Mitternacht die Westseite gekehrt war, und umgekehrt. Es sind also die Himmelsgegenden zwar bestimmte Richtungen im Horizonte, nicht aber im Weltenraume. Hier kann von O., W., S., N. nicht geredet werden.

Zur Veranschaulichung des Gesagten ist ein Globus geeigneter als eine Zeichnung. Man kann den Horizont durch eine kleine Pappscheibe, auf der die 4 Hauptthimmelsgegenden verzeichnet sind, darstellen und vermittelst einer Nadel auf dem Globus befestigen. Bei Drehung des Globus wird man die stets veränderte Lage der Himmelsgegenden im Raume leicht verfolgen können.

Zeitunterschied. Wie irgend ein bestimmter Fixstern, so muß auch die Sonne für alle östlich von uns liegenden Oerter früher culminiren als für uns, und zwar nach Maßgabe ihrer ost-westlichen Entfernung von uns, so daß also für Oerter, die nicht auf demselben Meridian liegen, nicht nur ein Unterschied in Sternzeit, sondern auch in wahrer Sonnenzeit stattfindet. Wie bei den Fixsternen, bedingt auch bei der Sonne eine ost-westliche Entfernung von 1^0 einen Zeitunterschied von etwa 4 Min. Sonnenzeit. Die bei Weltumsegelungen gemachte Erfahrung, daß bei der Rückkunft zu dem Orte der Abfahrt der auf dem Schiffe richtig geführte Kalender um einen ganzen Tag von dem an jenem Orte abweicht, kann somit nicht befremden.

Ferdinand Magelhaen fuhr am 20. September 1519 von San Lucar ab, und sein Schiff kam am 7. September 1522 an den Ort der Abfahrt zurück. Auf dem Schiffe schrieb man erst den 6. September, war also hier einen ganzen Tag zurück. *Ferdinand Magelhaen* war nämlich nach W. gereiset. Mit jedem Grade, den er weiter nach W. kam, mußte sich ein Zeitunterschied von 4 Min. einstellen, und zwar mußte man auf dem Schiffe um diese Zeit gegen die Zeit des Abfahrtsortes zurückbleiben. Bei einer ganzen Umsegelung der Erde mußte dieser Zeitunterschied 360×4 Min. $=$ 24 Std. oder 1 Tag betragen. Diesen ganzen Tag hatte man auf dem Schiffe aber nicht etwa verloren. Indem man nämlich nach W. fuhr, in einer Richtung, die der der Rotation der Erde entgegengesetzt ist, verzögerte man mit jedem Tage den Aufgang der Sonne nach Maßgabe der westlichen Entfernung, und verlängerte somit den natürlichen Tag; hätte man täglich 1^0 nach W. hin zurückgelegt, so wäre jeder Tag um 4 Min. verlängert worden. Wenn man also auch mit jedem neuen Sonnenaufgange im Kalender einen Tag anschrieb, so mußte doch bei der Rückkunft ein Tag gegen die Zeit des Abfahrtsortes fehlen. Diesen Tag hatte man mit verlebt, ihn aber gleichsam als Zugabe auf die einzelnen Tage der Reise vertheilt.

Die entgegengesetzte Erfahrung muß sich natürlich bei Weltumsegelungen herausstellen, die von W. nach O. hin unternommen werden. Indem man nach O., also gleichsam der Sonne entgegenfährt, verfrüht man den Sonnenaufgang

nach Verhältnis der täglichen Entfernung nach O., und verkürzt somit die Dauer des natürlichen Tages. Wenn man nun mit jedem neuen Sonnenaufgange einen neuen Tag anschreibt, so muß man nach vollendeter Reise nothwendig einen Tag mehr zählen, als am Orte der Ankunft. Diese Erfahrung ist denn auch bei allen nach O. hin unternommenen Weltumsegelungen gemacht worden.

Nach der Sonnenzeit regeln sich im bürgerlichen Leben die Beschäftigungen der Menschen. Da indessen die wahren Sonnentage, wie eine richtig construirte Sonnenuhr sie zeigt, wegen ungleichmäßiger Bewegung der Sonne in der Ekliptik von ungleicher Länge sind, so taugen sie nicht zur Grundlage der Zeitrechnung. Man hat darum eine sogenannte mittlere Sonne angenommen, die sich im Aequator gleichmäßig bewegt, und nennt die nach ihr bestimmte Zeit die mittlere Zeit. Die Zeit von einer Culmination der mittleren (nur in der Vorstellung existirenden) Sonne bis zur nächstfolgenden gleichnamigen wird ein mittlerer Sonnentag genannt, der ebenfalls in 24 gleiche Theile, Stunden, getheilt wird. Unsere Uhren zeigen gewöhnlich mittlere Zeit, während die Astronomen häufig nach Sternzeit rechnen. Ein Sterntag ist gleich 23 Stdn. 56 Min. 4,0913 Sek. mittlere Zeit; ein mittlerer Sonnentag gleich 24 Stdn. 3 Min. 56,555 Sek. Sternzeit. Nach dieser vorläufigen Angabe der Tagesdauer ist es eine leichte Aufgabe, Sternzeit in mittlere Sonnenzeit sowie diese in jene zu verwandeln. Wir werden indessen später gründlicher auf die Sache eingehen, nachdem wir im folgenden Kapitel für eine eingehendere Betrachtung die rechte Grundlage gewonnen haben werden.

Hier dürfte der geeignetste Ort sein, die interessante Frage zu beantworten: Welcher Wochentag und welche Uhrzeit ist in irgend einem Augenblicke an verschiedenen Oertern der Erde?

Wir wissen bereits, daß je 1^0 Entfernung nach O. oder W. (1^0 Längendifferenz) eine Zeitdifferenz von 4 Min. bedingt. Mit dem Glockenschlage 12 Uhr Mitternacht begann in Berlin mit dem Wochentage Mittwoch der Anfang des neuen Jahres 1868. In demselben Augenblicke war in Paris, 11^0 westlich von Berlin, noch Dienstag $11^h\,16^m$ abends, in Dublin, $19^0\,45'$ westlich, Dienstag $10^h\,41^m$ abends, in New-York, $87^0\,24'$ westlich, erst $6^h\,11^m$ abends, in San Franzisko, 136^0 westlich, erst Dienstag 3^h nachmittags, auf Tongatabu, einer der Freundschafts-Inseln, 189^0 westlich, sogar erst Dienstag $11^h\,24^m$ morgens. Gingen wir nun im Geist immer weiter nach W. fort, so müßten wir zu Oertern kommen, die noch frühere Zeit hätten; so würden wir z. B. in Sidney in Australien, 222^0 westlich von Berlin, erst Dienstag, den 31. Decbr. vormittags $9^h\,12^m$ vermuthen müssen, finden aber, daß man dort bereits Mittwoch, den 1. Jan. $9^h\,12^m$ vormittags hat. Ebenso sollte nach unserer Rechnung auf der portugiesischen Insel Makao, 260^0 westlich von Berlin, erst Dienstag $6^h\,40^m$ morgens sein; wir finden aber, daß dort bereits Mittwoch $6^h\,40^m$ morgens ist u. s. w. Wie erklärt sich dieser merkwürdige Umstand? Wir werden auf die Beantwortung dieser Frage geführt, wenn wir es versuchen, anstatt wie bisher nach W., nach O. von Berlin

aus vorzuschreiten. Wir finden dann, daß Sidney von Berlin aus 138° östlich liegt, und dies bedingt einen Zeitunterschied von $9^h\ 12^m$; um so viel früher muß also der Anfang des neuen Jahres dort eingetreten sein; es muß also, wenn man nach O. vorschreitet, bereits Mittwoch, der 1. Jan. $9^h\ 12^m$ vormittags sein. Auch für Makao stimmt die Rechnung, wenn wir von Berlin nach O. gehen. Da es 100° östlich von Berlin liegt, so beträgt der Zeitunterschied $6^h\ 40^m$; es muß daher bereits Mittwoch, der 1. Jan. $6^h\ 40^m$ morgens sein.

Aus dem Bisherigen wird klar geworden sein, daß, wenn zwei Seefahrer die Erde umschiffen, der eine nach O., der andre nach W., sie endlich in Gegenden kommen müssen, wo der Wochentag um einen Tag abweicht. Wo aber diese Gegenden sind, das läßt sich nur entscheiden durch die Beantwortung der Frage: Von welcher Seite her ist den betreffenden Gegenden der Kalender und die Zeitrechnung gebracht worden? Hierauf ist zu sagen: Die Spanier fuhren auf ihren Entdeckungsreisen im allgemeinen nach Westen und berechneten Uhrzeit und Wochentage der entdeckten Länder nach Maßgabe der westlichen Entfernung derselben von ihrem Mutterlande. Die Portugiesen, Holländer und Engländer dagegen fuhren meist nach Osten, und brachten daher von der entgegengesetzten Richtung Kalender und Zeitrechnung mit. Es giebt nun eine ziemlich gekrümmte Linie im Großen Ocean, welche die Entdeckungen der erstgenannten Nation von denen der letztgenannten Nationen trennt. Diese Linie beginnt an den Gestaden des nördlichen Eismeeres bei Nordamerika, zwischen den früheren Besitzungen der Russen in diesem Erdtheile und dem britischen Nordamerika, läuft dann durch den Großen Ocean, und zwar südlich von den Aleuten, dann östlich von den Kurilen und den japanischen Inseln, umschließt hierauf die Philippinen in einem westlichen Bogen und wendet sich nun zwischen Neu-Guinea und den Carolinen nach Osten; dann umfaßt sie in einem östlichen Bogen die innere australische Inselreihe und zieht endlich nach dem Südpol. Alle Oerter östlich von dieser Linie werden im allgemeinen, weil ihnen der Kalender und die Zeitrechnung von Osten gekommen ist, in Wochentag und Datum gegen die westlich davon liegenden einen Tag zurück sein. Ja, für gewisse Oerter nahe der Scheidelinie kann für kurze Zeit um die Mitternachtsstunde herum eine Differenz von zwei und selbst von drei Wochentagen eintreten, wie eine einfache Rechnung zeigt: Gilolo, die Hauptinsel der Molukken, hat seine Zeitrechnung durch die Holländer von W. her erhalten. Es liegt $114\frac{1}{2}°$ östlich von Berlin; der Zeitunterschied zwischen beiden Oertern beträgt daher $7^h\ 38^m$. Ist in Gilolo Mittwoch $12^h\ 15^m$ nachts, so ist in Berlin erst Dienstag $4^h\ 37^m$ nachmittags.

Der Stadt Manila auf den Philippinen ist der Kalender durch die Spanier von O. her gebracht worden. Da sie $253\frac{1}{2}°$ westlich von Berlin liegt, so beträgt der Zeitunterschied beider Oerter $16^h\ 54^m$. Während also in Berlin Dienstag $4^h\ 37^m$ nachmittags, in Gilolo aber Mittwoch $12^h\ 15^m$ nachts ist, ist in Manila erst Montag $11^h\ 43^m$ nachts oder 17^m vor Mitternacht.

Um diesem durch den so sehr unregelmäßigen Gang der oben beschrie-

benen Scheidungslinie entstehenden Uebelstande abzuhelfen, hat der Engländer *Wilcke* vorgeschlagen, anstatt jener unregelmäßigen Scheidungslinie einen sogenannten Kalender-Meridian anzunehmen, wozu sich der durch die Behringsstraße gehende 209. östl. Meridian eignen würde. Ob dieser Vorschlag je zur Ausführung kommen wird, muß dahingestellt bleiben. Eine kleine Verbesserung hat aber jene Linie bereits erfahren, indem die Vereinigten Staaten Nordamerikas in das von den Russen für einen Preis von 7,200000 Dollars erworbene Alaska ihren Kalender eingeführt haben.

4. **Die Bewegung des Mondes.** Was die scheinbare Bewegung des Mondes betrifft, so erklärt sich durch die Rotation der Erde zwar seine tägliche, nicht aber seine beträchtliche monatliche Bewegung, bei der er bekanntlich täglich etwa 13° in seiner eigenthümlichen Bahn fortschreitet. Erstere Bewegung als durch die Rotation der Erde hervorgerufen, noch besonders nachzuweisen, wird nach dem Bisherigen unnöthig sein. Für die letztere Bewegung werden wir die Erklärung noch zu suchen haben.

II. Vorbereitung zu einer specielleren Erklärung der Erscheinungen.

1. **Lage der wichtigsten Kreise des Himmels zu denen auf der Erde.** Versetzen wir uns in Gedanken auf den Nordpol der Erde, so geht die verlängert gedachte Erdachse durch uns hindurch. Nach jeder Rotation der Erde haben wir uns einmal um uns selbst gedreht, und dabei stets denselben Punkt des Himmels unbeweglich in unserem Zenith behalten. Dieser Punkt kann kein anderer sein als der Nordpol des Himmels. In ähnlicher Weise würden wir auf dem Südpol der Erde den Südpol des Himmels im Zenithe haben. Nord- und Südpol des Himmels werden also getroffen, wenn man sich die Erdachse bis zum Himmel verlängert denkt.

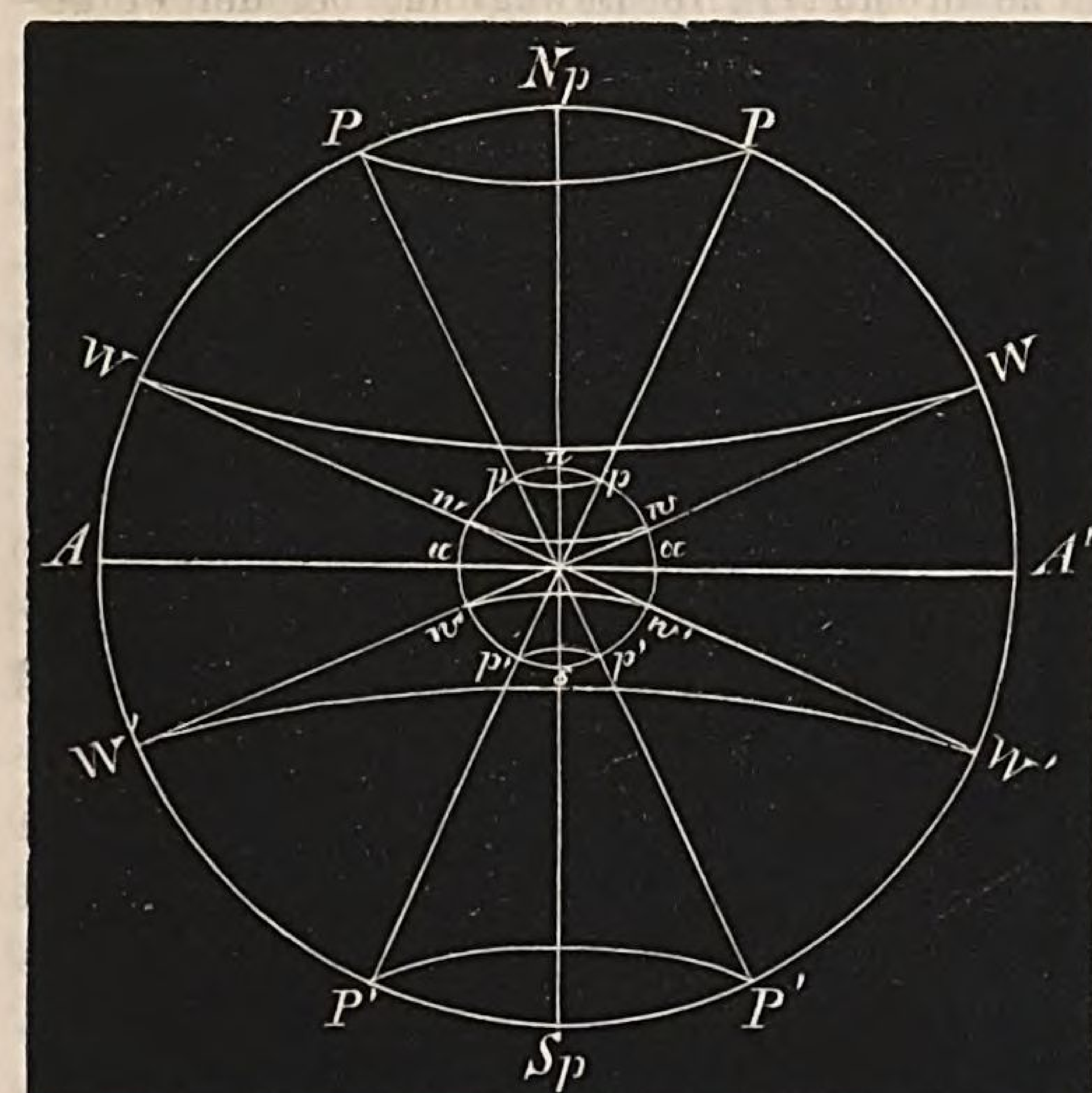
Entfernen wir uns einen Grad von dem Nordpol der Erde, so muß unser Zenith sich einen Grad vom Nordpol des Himmels entfernen, und da wir selbst auf unserm neuen Standpunkte in 24 Stdn. einen kleinen Parallelkreis beschreiben, so muß auch unser Zenith dabei allmählich Punkten des Himmels zugewandt werden, die in einem Parallelkreise liegen, der von dem ruhenden Pole als Mittelpunkt 1° entfernt ist.

Bei größerer Entfernung vom Pole der Erde muß auch unsere Zenithdistanz des Himmelspoles stets im Verhältnis unserer Entfernung vom Erdpole sich vergrößern, und stets von unserm Zenithe am Himmel ein Parallelkreis durchlaufen werden, der dem von uns selbst auf der Erde durchlaufenen Parallelkreise entspricht. In Berlin z. B. sind wir 37½° vom Nordpol der Erde, unser Zenith darum 37½° vom Nordpol des Himmels entfernt. Auf dem Aequator, 90° vom Pole entfernt, würde unser Zenith den Aequator des Himmels zu durchlaufen scheinen.

Auf diese Weise spiegeln sich die Parallelkreise der Erde gleichsam auf

den Himmel ab, und beide erscheinen darum mit Kreisen umgeben, die einander genau entsprechen. Die Lage und das gegenseitige Verhältnis der Kreise zu einander wird am deutlichsten, wenn man sie sich in Gedanken entstehen läßt. Zu dem Ende denke man sich in einem Erdmeridian eine beliebige Anzahl von Vertikalen vom Erdmittelpunkte ausgehen und bis zum Himmel verlängert; ihre Endpunkte am Himmel sind die Zenithe derjenigen Oerter der Erdoberfläche, welche von ihnen durchschnitten werden. Bei der Rotation der Erde legen diese Oerter der Erde Parallelkreise zurück, jene Zenithe aber zeichnen gleichsam die diesen Kreisen entsprechenden Kreise auf die Fläche des Himmels.

Fig. 38.



In dieser Weise ist die nebenstehende *Fig. 38*, welche die wichtigsten Parallelkreise der Erd- und Himmelskugel in ihrer gegenseitigen Lage darstellt, construirt worden. Für die Pole der Erde n und s sind die Vertikalen $n\,Np$ und $s\,Sp$ zugleich die Drehungsachse, und darum fixe Linien, ihre Endpunkte Np und Sp aber die Pole des Himmels.

In p und p', auf dem nördlichen und dem südlichen Polarkreise der Erde, $23^1/_2{}^0$ von den Erdpolen entfernt, machen die Vertikalen $p\,P$ und $p'\,P'$ bei der Rotation der Erde die Mäntel zweier Kegel, deren Spitzen im Mittelpunkte der Erde liegen, und deren Grundflächen die Ebenen der $23^1/_2{}^0$ von den Himmelspolen entfernten Polarkreise $P\,P$ und $P'\,P'$ des Himmels sind.

Auch die Vertikalen von w und w', im nördlichen und im südlichen Wendekreise der Erde, $23^1/_2{}^0$ vom Aequator entfernt, beschreiben bei jeder Umdrehung der Erde die Mäntel zweier, aber weit stumpferer Kegel, deren Grundflächen die Ebenen der $23^1/_2{}^0$ nördlich und südlich vom Himmelsäquator liegenden Wendekreise des Himmels $W\,W$ und $W'\,W'$ sind.

Die Vertikalen für Oerter des Erdäquators $a\,a$ beschreiben keine Kegel mehr, sondern die Ebene eines größten Kreises, nämlich des Himmels- oder Weltäquators $A\,A'$, welche mit der Ebene des Erdäquators zusammenfällt.

Mit Beziehung auf die Figur wollen wir die wichtigsten der gefundenen Sätze noch einmal kurz zusammenfassen:

1) Erd- und Himmelskugel sind als concentrische Kugeln anzusehen.

2) Unserm Standpunkte auf der Erde entspricht am Himmel unser Zenith.

3) Dem von unserm Standpunkte bei der Rotation der Erde durchlaufenen

Parallelkreise der Erde entspricht der von unserm Zenithe scheinbar durchlaufene Parallelkreis des Himmels.

4) Die verlängerte Erdachse giebt die Himmels- oder Weltachse, so daß jene ein Theil dieser ist.

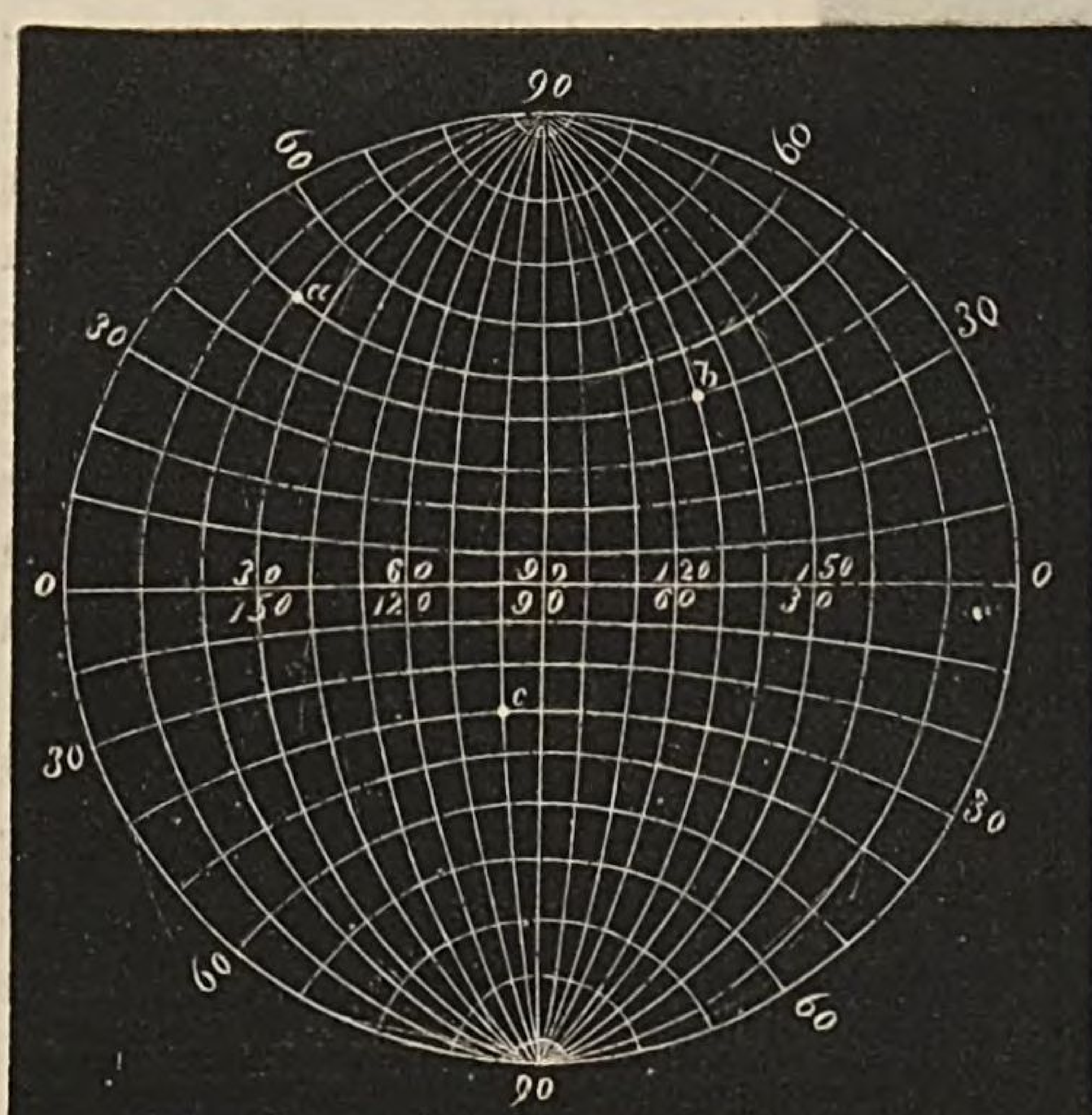
5) Die Ebene des Erdäquators ist ein Theil der Ebene des Himmelsäquators; es fallen also zwar die Ebenen, nicht aber die Peripherien beider Kreise zusammen.

6) Die Ebenen der übrigen Parallelkreise der Erde fallen nicht mit denen des Himmels zusammen, laufen aber mit einander parallel.

Die eigentliche Ursache der Entstehung der Kreise am Himmel liegt in der Rotation der Erde, und man hätte sie von dieser auf den Himmel übertragen müssen, wenn man naturgemäß hätte verfahren wollen. Dies ist indessen nicht geschehen, da die Rotation des Himmels bereits Jahrtausende hindurch wahrgenommen worden war, ehe man sich von der Rotation der Erde auf die beschriebene Weise überzeugt hatte. Der historische Weg ist auch hier, wie bei so vielen Dingen, der gewesen, vom Secundären zum Primären, von der Wirkung zur Ursache fortzuschreiten.

2. **Das geograghische Netz.** Wie man mit Hilfe der Kreissysteme, mit denen man den Himmel überzogen gedacht hat, die Position der einzelnen Sterne mit großer Genauigkeit bestimmen kann, haben wir bereits S. 62 ff. gelernt. In ähnlicher Weise geschieht auch die genaue Ortsbestimmung auf der Erde, und zwar durch zwei Systeme von Kreisen, durch die bekannten Parallelkreise und die Meridian- oder Mittagskreise, die zusammen das geographische Netz heißen, welches die nebenstehende *Fig. 39* darstellt.

Fig. 39.



Der größte aller Parallelkreise, der Aequator, theilt die Erde in die nördliche und die südliche Halbkugel und wird als erster aller Parallelkreise angenommen. Von ihm kann ein Ort der Erdoberfläche nach N. oder S. entfernt sein, und man nennt die Entfernung des Ortes vom Aequator, gemessen durch den Meridianbogen zwischen dem Aequator und dem Orte, die geographische Breite des Ortes. Man unterscheidet sie als nördliche und südliche Breite. Da die geographische Breite nur bis zu den Polen hinauf gezählt werden kann, so giebt es höchstens 90° nördlicher und 90° südlicher Breite. Alle Oerter, die auf dem-

selben Parallelkreise liegen, haben gleiche Breite, und da somit diese Kreise für die Breite bestimmend sind, so hat man sie Breitenkreise genannt.

In *Fig. 39* haben die Oerter *a*, *b*, *c* eine Breite von resp. 50 und 40° nördlicher und 30° südlicher Breite, gemessen durch die betreffenden Meridianbogen vom Aequator bis zu den genannten Oertern.

Durch geographische Breite allein ist aber die Lage eines Ortes noch nicht genau bestimmt, indem dadurch zwar der Parallelkreis, nicht aber der Punkt dieses Kreises bestimmt ist, in welchem der Ort liegt. Darum ist ein zweites System von Kreisen, das der Meridiane oder Mittagskreise, nothwendig. Jeder Meridian der Erde ist als ein Halbkreis zu betrachten, der von Pol zu Pol geht, und darum alle Parallelkreise rechtwinklig durchschneidet. Jeder Meridian durchschneidet jeden Parallelkreis nur in einem Punkte. Je zwei einander gegenüberliegende Meridiane bilden (von der Abplattung der Erde abgesehen) einen größten Kreis der Erde. Ihre Namen haben diese Kreise von dem Umstande, daß alle Oerter, die auf demselben Meridian liegen, zu gleicher Zeit Mittag haben. Da man sich durch jeden Punkt der Erdoberfläche einen Meridian gezogen denken kann, so ist die Zahl derselben, wie die der Parallelkreise, eigentlich nicht beschränkt; denkt man sie sich in Entfernungen von Grad zu Grad gezogen, so sind 360 derselben zu unterscheiden. Auf Globen und Planiglobien pflegt man sie, wie in *Fig. 39*, von 10 zu 10° zu verzeichnen.

Alle Meridiane sind nahezu von gleicher Größe (s. Gradmessungen S. 94), und es empfiehlt sich daher keiner, wie dies bei den Parallelkreisen der Fall war, durch seine Größe als der erste. Irgend einer muß indessen als der erste, von dem aus gezählt werden soll, angenommen werden; da aber nach dem Gesagten die Wahl freistand, so haben verschiedene Völker auch einen verschiedenen Meridian als den ersten gewählt.

Die Franzosen nehmen den durch die Sternwarte von Paris, die Engländer den durch die Sternwarte von Greenwich gehenden als den ersten an. In Deutschland aber pflegt man von dem Meridian von Ferro, einer der canarischen Inseln, an zu zählen. Dieser Meridian empfiehlt sich bei der Construction des Planiglobiums, insofern durch ihn die meisten Erdtheile ungetheilt bleiben und nicht, wie durch die beiden andern genannten, durchschnitten werden. Die Lage dieses Meridians von Ferro hat indessen im Laufe der Zeit einige Veränderungen erfahren. Seitdem es Sitte geworden, häufig nach dem Meridian von Paris zu zählen, hat man um der Einfachheit der Rechnung willen den von Ferro gerade 20° westlich von Paris angenommen, so daß er gegenwärtig nicht durch die Insel Ferro, sondern ein wenig östlich von der Ostspitze der Insel vorübergeht. Uebrigens pflegen Astronomen ihre Beobachtungen auf den durch ihre Sternwarte gehenden Meridian zu beziehen, und wir werden weiter unten noch sehen, wie man die Resultate der Beobachtung leicht auf einen andern Meridian reduciren kann.

Denkt man sich die Erde in dem Meridian von Ferro getheilt, so erhält

man die östliche und die westliche Halbkugel der Erde. Die Entfernung eines Ortes vom ersten Meridian nennt man die geographische Länge desselben und zählt sie auf dem Aequator oder einem andern Parallelkreise nach O. oder W., als östliche oder westliche Länge 360° herum. Da die Meridiane die Länge bezeichnen, werden sie auch wohl Längenkreise genannt.

Denken wir uns *Fig. 39* als östliche Halbkugel, so haben die Oerter *a*, *b*, *c* resp. 20, 130, 80° östliche Länge, gemessen durch den Bogen des Aequators von 0—20, 0—130, 0—80°; wird sie hingegen als westliche Halbkugel angesehen, so haben dieselben Oerter *a*, *b*, *c* eine westliche Länge von resp. 160, 50 und 100°.

In *a* durchschneidet der 50ste Parallelkreis den 20sten östlichen Meridian; er hat also 50° nördl. Br. und 20° östl. Länge u. s. w. Durch geographische Länge und Breite aber wird die Lage eines Ortes der Erdoberfläche ganz genau bestimmt. Soll die geographische Lage eines ganzen Landes angegeben werden, so muß gleichsam die Masche des geographischen Netzes, gebildet durch zwei Parallelkreise und zwei Meridiane, bezeichnet werden, zwischen denen das zu bestimmende Land liegt.

Bei dem Gebrauche von Landkarten muß man sich vergewissern, welcher Meridian als erster angenommen worden ist; es ist alsdann leicht, die Längenangaben derselben auf einen andern Meridian zu reduciren, wenn die Abweichung der angenommenen ersten Meridiane von einander bekannt ist. Wie schon gesagt, liegt der Meridian von Paris 20°, der von Greenwich aber 17° 39′ 36″ östlich von dem von Ferro. Nach dem Meridian von Ferro, auf deutschen Karten, hat also Paris 20°, Greenwich 17° 39′ 36″ östliche Länge; nach dem Meridian von Paris, auf französischen Karten, hat Ferro 20°, Greenwich 2° 20′ 24″ westliche Länge u. s. w.

Geographische Länge und Breite können auch als Winkel erklärt werden. So ist die geographische Breite eines Ortes der Winkel, den die Vertikale dieses Ortes mit der Ebene des Aequators macht, und der durch den Meridianbogen zwischen dem Ort und dem Aequator gemessen wird. — Geographische Länge eines Ortes aber ist der Winkel, den der Meridian dieses Ortes mit dem ersten Meridian an den Polen der Erde bildet, und dessen Maß der Bogen des Aequators oder des durch den Ort gehenden Parallelkreises ist, der zwischen den beiden Meridianen liegt.

Die Astronomen pflegen diesen letzteren Bogen, also die Länge, in Zeit auszudrücken, wobei wieder daran zu erinnern ist, daß je $15^0 = 1$ Std., 1^0 also $= 4$ Min. Zeit sind. So ist z. B. die Längendifferenz zwischen Paris und Ferro $= 20 \times 4^m = 1^h\ 20^m$. Paris und Greenwich aber haben eine Längendifferenz von $9^m\ 21{,}5^s$.

3. **Entstehung der Namen »Länge« und »Breite.«** Was die Namen »Länge« und »Breite« betrifft, so sind dieselben für Ausdehnungen auf einer Kugel wenig passend. Sie sind indessen historischen Ursprungs. Im Alterthume stellte man sich, wie schon erwähnt, lange Zeit hindurch die Erde als

eine vom Ocean umflossene Scheibe vor, die weiter von W. nach O. als von N. nach S. hin ausgedehnt sei. Zur Zeit des *Ptolemäus*, eines berühmten Geographen und Astronomen zu Alexandria, 150 n. Chr. Geb., reichte die Kenntnis der Erdoberfläche von den canarischen (den »glücklichen«) Inseln im äußersten Westen bis zu den Grenzen, oder den östlichen Küsten Chinas (»Sina« oder »Thina«) im äußersten Osten, von S. nach N. aber von dem Mondgebirge in Mittel-Afrika, auf dem man die Quellen des weißen Nils vermuthete, bis zur Insel Island. Hiernach schien die Erde etwa zweimal so weit von W. nach O. als von S. nach N. ausgedehnt zu sein, und *Ptolemäus*, der sich durch eine verhältnismäßig genaue Ortsbestimmung verschiedener Punkte der Erde in jener Zeit ein großes Verdienst erworben, nannte wahrscheinlich deshalb jene Ausdehnung, als die größte, die Länge, diese, als die kleinere, die Breite. Seit jener Zeit sind diese Namen beständig im Gebrauch geblieben, obgleich man über die Gestalt und Größe der Erde allmählich richtigere Ansichten gewonnen hat; doch haben jene Namen auch heute noch einen gewissen Sinn, da wegen der Abplattung der Erde an den Polen die Ausdehnung derselben in der Richtung des Aequators von W. nach O. in der That etwas beträchtlicher ist, als die in der Richtung der Meridiane von S. nach N.

4. **Art der Bestimmung der geographischen Breite und Länge.** Die möglichst genaue Bestimmung der geographischen Lage eines Punktes der Erdoberfläche ist von der größten Wichtigkeit. Ohne dieselbe würde es z. B. nicht möglich sein, einen nur einigermaßen richtigen Globus oder eine Landkarte zu entwerfen, und wir würden ohne sie noch heute, wie im Alterthum, in Beziehung auf die gegenseitige Lage der einzelnen Länder, hinsichtlich der Gestalt und Gruppirung der Erdtheile u. s. w. fast völlig im Unklaren sein. Mit dem Verkehr auf der Erde würde es ebenfalls schlecht bestellt sein; namentlich wäre der weite Ocean, der heute von tausenden von Schiffen in den verschiedensten Richtungen mit der größten Sicherheit durchfurcht wird, ein unbesuchtes, gefürchtetes Gebiet geblieben, wie er es im Alterthume war. Man mußte sich damals mühsam während des Tages an den Küsten hin forthelfen, denn, einmal verschlagen, war man, wie der verirrte Wanderer in der einsamen Wüste, den größten Gefahren preisgegeben.

Eine wesentliche Erleichterung auf Reisen gewährte der Compaß. Mit Hilfe desselben konnte man sich wenigstens der Richtung versichern, die man einzuschlagen beabsichtigte. Er wurde in Europa im 12. Jahrhundert allgemein bekannt. Die Chinesen benutzten ihn bereits seit 750 v. Chr. Geb. auf Land- und seit dem 4ten Jahrhundert n. Chr. Geb. auf Seereisen. Ohne ihn hätte *Columbus* seine Entdeckungsreise nicht antreten können. Aber er genügt nicht, den Seemann vor Gefahren zu schützen. Wie soll er, wenn er z. B. von einem Sturm in unbekannte Gegenden verschlagen ist, die neue Richtung bestimmen, die eingeschlagen werden muß, um einen sichern Hafen oder das Ziel der Reise zu erreichen! Dies ist nur möglich, wenn er im stande ist, mit einiger Sicherheit zu bestimmen, auf welchem Punkte der großen Erdkugel,

auf welchem Parallelkreise und Meridian er sich befinde. Darum hat man diesem Gegenstande eine große Aufmerksamkeit zugewandt, und es sind, namentlich von Seeverkehr unterhaltenden Völkern, hohe Preise für Auffindung leicht anwendbarer und sicherer Methoden, die geographische Lage eines Punktes der Erde zu bestimmen, ausgesetzt worden. Gegenwärtig ist die Aufgabe als genügend gelöst zu betrachten; aber auch hier, wie in so vielen andern Dingen, ist die Menschheit der Astronomie zum Danke verpflichtet. In dem Folgenden soll versucht werden, in einigen Hauptzügen anzudeuten, durch welche Mittel die Lösung der Aufgabe möglich ist; denn es muß hier, wo es sich nicht um praktische Anweisung handelt, genügen, wenn die Möglichkeit der Bestimmung eingesehen wird.

Die Bestimmung der geogr. **Breite** hat keine großen Schwierigkeiten. Es ist nämlich die geogr. Breite eines Ortes stets seiner Polhöhe, oder der Zenith-Distanz des Aequators gleich, ein Satz, auf den wir später noch einmal zurückkommen werden, dessen Wahrheit aber schon aus dem S. 123 Gesagten sich ergiebt, wonach unserm Standpunkte auf der Erde unser Zenith am Himmel entspricht. Auf dem Aequator, in 0° Breite, liegt unser Zenith im Himmelsäquator; die Aequatorhöhe ist mithin gleich 90°, und die Polhöhe darum gleich 0°. Entfernen wir uns 10, 20, 30 . . . 90 Grad vom Erdäquator, so entfernt sich unser Zenith resp. 10, 20, 30 . . . 90 Grad vom Himmelsäquator; es ist also unsere Entfernung vom Erdäquator oder unsere geogr. Breite gleich der Zenithdistanz des Aequators. Diese aber ist stets gleich der Polhöhe; folglich ist auch diese gleich der geogr. Breite. Die Aufgabe, die geographische Breite eines Ortes zu bestimmen, fällt also mit der, seine Polhöhe zu finden, zusammen. Wie diese durch Circumpolarsterne gefunden wird, ist bereits S. 61 gezeigt worden.

Es giebt aber heutzutage, wo unter andern der scheinbare Sonnen- und Mondlauf so außerordentlich bekannt, und die Stellung dieser Körper am Himmel nach Rectascension und Declination, nach Länge und Breite in den astronomischen Sonnen- und Mondtafeln für jeden Tag des Jahres berechnet sind, noch mancherlei Mittel, sie zu finden.

Hat man z. B. an einem Orte die Mittagshöhe der Sonne an irgend einem Tage beobachtet, so hat man nur nöthig, die für diesen Tag in jenen Tafeln angegebene Declination der Sonne von der beobachteten Höhe abzuzählen oder hinzuzuzählen, je nachdem diese Declination resp. nördlich oder südlich ist, um sofort die Aequatorhöhe des Ortes zu erhalten. Da aber Aequator- und Polhöhe einander stets zu 90° ergänzen, so erhält man die letztere und damit die geogr. Breite, wenn man die gefundene Aequatorhöhe von 90° abzieht.

Am 10. Juli wird z. B. zu Wien die Mittagshöhe der Sonne $= 63^0\ 28'$ beobachtet. Die nördliche Declination der Sonne an diesem Tage ist nach jenen Sonnentafeln $= 22^0\ 18'$; folglich ist die Aequatorhöhe für Wien $= 63^0\ 28' - 22^0\ 18' = 41^0\ 10'$, und hieraus folgt die Polhöhe Wiens $= 90^0 - 41^0\ 10' = 48^0\ 50'$.

Am 11. Januar hingegen ist die Mittagshöhe der Sonne zu Wien $= 19^0$ 16′, die südliche Declination derselben an demselben Tage $= 21^0\ 54'$; folglich ist die Aequatorhöhe Wiens hiernach $= 19^0\ 16' + 21^0\ 54' = 41^0\ 10'$, und hieraus folgt die Polhöhe wie vorher $= 90^0 - 41^0\ 10' = 48^0\ 50'$.

Die Polhöhe läßt sich aber auch dann bestimmen, wenn die Höhe der Sonne zu irgend einer andern Zeit als zu Mittag gemessen wird, und es giebt in dieser Beziehung bestimmte Methoden der Berechnung, welche besonders von Seefahrern mit Nutzen angewendet werden, die oft jeden Sonnenblick benutzen müssen, um sich über ihre Lage Gewißheit zu verschaffen.

Schließlich mag hier noch bemerkt werden, daß die astronomisch bestimmte Polhöhe nicht genau mit der bei geodätischen Messungen gefundenen stimmt. Diese Abweichung hat in dem Umstande ihre Ursache, daß die Lothlinien in vielen Erdgegenden geringere oder größere Abweichungen zeigen, die in manchen Gegenden ziemlich bedeutend sind, z. B. zwischen Mailand und Parma, wo sie bis 20″ betragen. Als Ursachen derselben werden die Anziehung großer Bergmassen, unregelmäßige Dichtigkeitsverhältnisse im Innern der Erde und endlich geognostische Lagerungsverhältnisse angesehen.

Bestimmung der geogr. **Länge.** Schwieriger als die Bestimmung der geogr. Breite ist die der geogr. Länge. Diese Aufgabe reducirt sich eigentlich allein auf die, den Zeitunterschied zweier Oerter in demselben Momente mit größter Schärfe zu bestimmen.

Allein diese Zeitdifferenz mit gehöriger Schärfe anzugeben, ist erst seit der Erfindung der Chronometer, d. i. Zeitmesser, verhältnismäßig leicht geworden. Es sind dies Uhren von so gleichmäßigem Gange, daß sie, einmal regulirt, im Laufe eines Jahres, namentlich wenn sie in Ruhe bleiben, kaum um einige Sekunden vor- oder nachgehen. Hierauf kommt es indessen nicht einmal an, wenngleich es wünschenswerth ist; sie erfüllen ihren Zweck auch dann vollkommen, wenn sie nur gleichmäßig gehen. Wüßte ein Seefahrer z. B. durch Vergleichung seines Chronometers mit einem guten derartigen Instrumente auf der Greenwicher Sternwarte, daß seine Uhr täglich $^1/_2$ Sekunde vor- oder nachgehe, so könnte er auf seiner ganzen Reise jederzeit wissen, welche Zeit in Greenwich ist; denn er hätte ja die beobachtete Abweichung seiner Uhr nur mit der Zahl der seit seiner Abfahrt von Greenwich verflossenen Tage zu multipliciren und das gefundene Produkt von seiner Uhrzeit abzuziehen oder zu derselben hinzuzuzählen. Außerdem giebt es aber noch mancherlei Mittel, den Gang der Uhr zu controliren.

Ein geeignetes Mittel, die Längendifferenz verschiedener Oerter zu bestimmen, sind darum

a) Chronometer. Man hat Reisen mit guten Instrumenten dieser Art gemacht und dann nach Vergleichung des mitgenommenen Chronometers mit der genau bestimmten Uhrzeit der betreffenden Oerter die Längendifferenz derselben berechnet. Findet man z. B. auf einer Reise von Berlin nach Cöln eine Zeitdifferenz von 25 Min. 44 Sek., so muß, da 4 Min. Zeit $= 1^0$, ein

Längenunterschied von 6° 26′ zwischen beiden Städten bestehen. Ist nun Berlins Länge von 31° 3′ östlich von Ferro bekannt, so muß Cöln eine solche von nur 24° 37′ besitzen, da diese Stadt hinter Berlin um die oben angegebene Zeit zurück ist.

Allein auf Reisen, namentlich zu Lande, sind solche Uhren manchen Störungen und Gefahren ausgesetzt, und die oft nicht zu verhindernde Erschütterung derselben beeinträchtigt ihren regelmäßigen Gang und dadurch die Richtigkeit der darauf gegründeten Berechnungen.

Man hat deshalb darauf gesonnen, Erscheinungen aufzufinden, die von verschiedenen Oertern aus in demselben Momente mit genügender Schärfe beobachtet werden können. Es würde dann nur einer Mittheilung der im Momente der Beobachtung an den Beobachtungsorten gefundenen Zeit bedürfen, um aus der sich ergebenden Zeitdifferenz nachträglich die Längendifferenz der Oerter berechnen zu können.

Als Erscheinungen der obigen Art sind zu nennen:

b) Blickfeuer. Wenn man etwa auf der Spitze eines hohen Berges, der von zwei entfernten Oertern gesehen werden kann, eine Quantität Pulver explodiren, oder Raketen steigen läßt, oder mit einem sogenannten Heliotrop ein Lichtsignal giebt, so wird dies bei der großen Geschwindigkeit des Lichts (c. 42000 Mln. in 1 Sek.) von beiden Oertern in demselben Augenblicke gesehen werden. Beachtet man nun sogleich nach der Zeit dieser Oerter richtig gehende Uhren, so wird die gefundene Zeitdifferenz die Längendifferenz der Oerter ergeben. Es kann z. B. die Spitze der Schneekoppe von Breslau und von dem Lorenzberge bei Prag gesehen werden. Hätte man im Momente des Erlöschens einer Rakete in Breslau nach der dortigen Uhr $10^h\ 50^m\ 26^s$, in Prag in demselben Momente nach der Uhr dieses Ortes $10^h\ 39^m\ 53^s$ gehabt, so wäre der Zeitunterschied beider Oerter $= 10^m\ 33^s$. Um diese Zeit ging die Uhr in Breslau vor, es muß also östlich von Prag liegen. Verwandelt man $10^m\ 33^s$ in Bogen, indem man mit 4 dividirt, so erhält man 2° 38′ 15″ als Längenunterschied zwischen Breslau und dem Lorenzberge bei Prag. Dieser Berg liegt westlich von Prag, und da zwischen ihm und Prag ein Zeitunterschied von 5^s, also eine Längendifferenz von 1′ 15″ stattfindet, so liegt Breslau von der Stadt Prag 2° 37′ östlich. In dieser Weise kann man den Längenunterschied vieler Oerter bestimmen, und durch Combination der gefundenen Resultate alle auf einen bestimmten Meridian (Paris, Ferro etc.) reduciren. Allein dies Verfahren ist kostspielig und im Flachlande schwer, auf der See fast gar nicht anzuwenden.

Anstatt der Blickfeuer werden jetzt auch wohl auffallende Sternschnuppen nach geschehener Verabredung beobachtet; denn durch Verzeichnung ihrer Bahnen ist es möglich, einige derselben als an mehreren Oertern zugleich gesehene zu erkennen.

c) Elektrische Telegraphen in Verbindung mit Chronometern. Ein vortreffliches Mittel der Längenbestimmung sind die elektrischen oder gal-

vanischen Telegraphen. Der galvanische Strom durchläuft den Leitungsdraht mit einer Geschwindigkeit (c. 60000 Mln. in 1 Sek.), welche die des gewöhnlichen Lichtstrahles noch übertrifft, so daß alle irdischen Entfernungen als verschwindend klein angenommen werden können, und also ein durch den Telegraphen gegebenes Signal fast als in demselben Zeitmomente an den Ort seiner Bestimmung anlangend angesehen werden kann, in welchem es am Abgangsorte gegeben worden. Man sieht leicht, daß dieser Umstand für die Längenbestimmung außerordentlich günstig ist, zumal man jetzt im stande ist, zwischen weit von einander entfernten Oertern direkt zu telegraphiren.

Ein Signal, das von Berlin präcise 12 Uhr mittlerer Zeit abgeht, trifft in Danzig, nach der Zeit dieses Ortes, um $12^h\ 20^m\ 57^s$ an. Die Danziger Uhr geht also gegen die Berliner $20^m\ 57^s$ vor; Danzig liegt demnach östlich von Berlin, und zwar $5^0\ 14'$. Zwischen Berlin und Paris zeigt sich ein Zeitunterschied von $44^m\ 14^s$. Eine Nachricht, die von Berlin um 12 Uhr abgeht, kommt, wie paradox es auch klingen mag, in Paris bereits vor $^1/_4$12 Uhr, aber dieses Ortes, an. Die Längendifferenz zwischen Berlin und Paris beträgt nach obiger Zeitdifferenz $11^0\ 3'\ 30''$. Da Paris genau 20^0 von Ferro liegt, so hat Berlin (die neue Sternwarte) eine Länge von $31^0\ 3'\ 30''$.

Wenn erst die ganze Erde mit einem Netze galvanischer Telegraphen überspannt sein wird, so wird man in ihnen ein vortreffliches Mittel haben, früher gemachte, etwa fehlerhafte Bestimmungen zu berichtigen. In neuester Zeit hat man in Nord-Amerika die Telegraphen zuerst in großem Maßstabe zu Längenbestimmungen angewandt; aber auch in Europa hat man dieselben vielfach zu Längenbestimmungen benutzt. Auf diese Weise ist der galvanische Strom Zwecken dienstbar geworden, an die man bei der Entdeckung desselben in der *Volta*'schen Säule nicht im entferntesten gedacht hat. Was den Grad der Genauigkeit der telegraphischen Längenbestimmungen betrifft, so ist dieselbe bis auf eine Zeitsekunde zuverlässig. Will man die Genauigkeit weiter treiben, so muß man viele sorgfältige Beobachtungen machen und aus ihnen das Mittel nehmen. Dies ist um so nöthiger, als zwei Beobachter ein gegebenes Signal nicht gleich schnell sehen oder hören, und dieser Unterschied in der Zeit erst durch mehrfache Beobachtungen ermittelt werden muß, um später als persönliche Gleichung mit in Rechnung gezogen werden zu können.

d) Mondfinsternisse. Auch Mondfinsternisse sind Ereignisse, die für alle Oerter der Erde, für welche der Mond eben über dem Horizonte steht, in demselben Augenblicke gesehen werden, und darum sind auch sie zu Längenbestimmungen angewendet worden. Die hierdurch gewonnenen Resultate sind indessen keiner großen Schärfe fähig, da der den Mond verdunkelnde Erdschatten sich wegen des sogenannten Halbschattens stets verwaschen zeigt, und es daher schwer ist, den Moment des Anfangs oder Endes der Finsternis genau zu bestimmen. Etwas mehr Sicherheit gewährt die Beobachtung des Momentes, in welchem ein bestimmter Fleck des Mondes verdunkelt wird. Auch die den Planeten Jupiter umkreisenden 4 Monde sind mit ziemlich gutem Erfolge zu

Längenbestimmungen benutzt worden. Diese Erscheinungen treten indessen zu selten ein, wenigstens sind sie zu selten sichtbar, als daß sie für den Seemann von großem Nutzen sein sollten.

e) Sonnenfinsternisse. Ein sichreres Mittel der Längenbestimmung gewähren die Sonnenfinsternisse, da der Moment des Anfangs und des Endes der Finsternis sich mit großer Schärfe bestimmen läßt; es stellt sich nämlich die die Sonne bedeckende dunkle Mondscheibe stets als scharf begrenzt dar. Freilich bieten diese Erscheinungen einen andern Uebelstand dar. Da sie nämlich nicht wirkliche Verfinsterungen der Sonne, sondern nur Bedeckungen derselben sind, so werden sie nicht an allen Oertern, für welche sie überhaupt sichtbar sind, in demselben Zeitmomente gesehen. Für westlicher gelegene Oerter treten die Finsternisse früher als für östlicher gelegene ein; denn während für erstere der von W. nach O. in seiner Bahn fortschreitende Mond schon in der Richtung der Erde und Sonne verbindenden geraden Linie steht, können die letzteren noch zwischen ihm und der Sonne hindurchsehen, da der Mond der Erde 400mal so nahe steht als die Sonne. — Die Bewegung des Mondes ist aber gegenwärtig so genau bekannt, daß es leicht ist, aus der Zeit der Beobachtung von der Erdoberfläche diejenige Zeit zu berechnen, zu welcher die Finsternis, aus dem Erdmittelpunkte gesehen, eingetreten wäre. Hier würde sie aber für alle Oerter in demselben Zeitmoment gesehen worden sein. Wird die Reduction für verschiedene Oerter vorgenommen, so erhält man die verschiedenen Zeiten der Beobachtungsörter im Momente des Anfangs oder Endes der Finsternis und dadurch, wie oben, die Zeit- und Längendifferenz der Oerter.

Mit gleich gutem Erfolge, wie Sonnenfinsternisse, lassen sich auch Bedeckungen von Fixsternen durch den Mond, oder Durchgänge der Planeten Merkur und Venus durch die Sonnenscheibe zu Längenbestimmungen benutzen, wobei aber jedenfalls die Reduction auf den Mittelpunkt der Erde nöthig ist. Diese Ereignisse sind aber zu selten, als daß sie für den Seemann von großem praktischen Nutzen sein sollten. Ein besseres Mittel gewähren Berechnungen der

f) Distanzen des Mondes von einigen großen Fixsternen, wie sie vom Erdmittelpunkte aus gesehen werden würden. Dergleichen Berechnungen sind von Astronomen für jeden Tag im Jahre von 6 zu 6, ja von 3 zu 3 Stdn. im voraus, und zwar in der Zeit eines bestimmten, seiner Lage nach bekannten Ortes, gewöhnlich einer Sternwarte, gemacht worden.

Hätte z. B. (nach *Littrow*) die Distanz des Mondes von der Sonne für Paris betragen

am 18. August	mitternachts	0^h	=	24°	30′	10″	
» »	morgens	6	=	27	50	40	
» »	mittags	12	=	31	21	25	
» »	abends	6	=	35	2	40	

und ein Seefahrer hätte um $7^h\ 47^m\ 37^s$ abends der mittleren Zeit seines Schiffes (bestimmt durch beobachtete Sonnenhöhen) die Distanz des Mondes von der Sonne, auf den Erdmittelpunkt reducirt, = 29° 8′ 14″ gefunden, so würde

eine Vergleichung seiner Beobachtung mit den oben mitgetheilten Monddistanzen ihm zeigen, daß in **Paris** Mond und Sonne die von ihm gefundene Distanz von $29^0\ 8'\ 14''$ zwischen 6 Uhr morgens und 12 Uhr mittags haben müssen, und eine einfache Rechnung kann ihn genau die mittlere Zeit dieser Distanz für Paris finden lassen. Von 6 bis 12 Uhr, also in 6 Stdn., ändert sich nämlich die Distanz beider Himmelskörper um $3^0\ 30'\ 45''$; die beobachtete Distanz aber ist von der um 6 Uhr in Paris geltenden $1^0\ 17'\ 34''$ verschieden. Es ist jetzt nur auszurechnen, wie viel Zeit erforderlich ist, um die letztere Aenderung der Distanz zu bewirken. Dies ist aber durch die einfache Proportion zu finden.

$$3^0\ 3'\ 45'' : 6 \text{ Std.} = 1^0\ 17'\ 34'' : x \text{ Stdn.},$$

woraus sich $x = 2^h\ 12^m\ 30^s$ ergiebt. In Paris hatten also Sonne und Mond $2^h\ 12^m\ 30^s$ nach 6 Uhr morgens, also um $8^h\ 12^m\ 30^s$ morgens eine Distanz von $24^0\ 8'\ 14''$; auf dem Schiffe aber hatte sie, wie mitgetheilt, um $7^h\ 47^m\ 37^s$ abends diese Größe. Da nun, vom Erdmittelpunkte aus gesehen, jene Distanz des Mondes in demselben Zeitmomente stattfindet, so giebt die Differenz der Zeit des Schiffes im Momente der Beobachtung und der zu Paris die Differenz der Länge beider Oerter an.

Zwischen $7^h\ 47^m\ 37^s$ abends auf dem Schiffe
und $8\ \ 12\ \ 30$ morgens zu Paris
ist eine Differenz von $11^h\ 35^m\ 7^s$.

Verwandelt man diese Zeit in Bogen, so findet man die Längendifferenz zwischen dem Schiffe und Paris $= 173^0\ 46'\ 45''$, und zwar ist die Länge des Schiffes so viel östlicher, weil die Schiffszeit früher als die zu Paris war. — Wäre die geogr. Breite des Schiffes $= 17^0$ südlich gefunden worden, so würde, wie ein Blick auf die Karte lehrt, das Schiff sich auf der westlichen Halbkugel zwischen den neuen Hebriden und den Fidji-Inseln befunden haben.

Dies sind in der Kürze die wichtigsten Mittel, durch deren Anwendung es allmählich gelungen ist und noch gelingt, die geogr. Lage der Erdörter mit genügender Sicherheit zu bestimmen. Allein es ist noch viel zu thun, ehe diese Kenntnis sich auf alle Punkte der Erde erstrecken und auf unsern Globen und Landkarten **jeder** Ort nach seiner geogr. Breite und Länge genau verzeichnet sein wird.

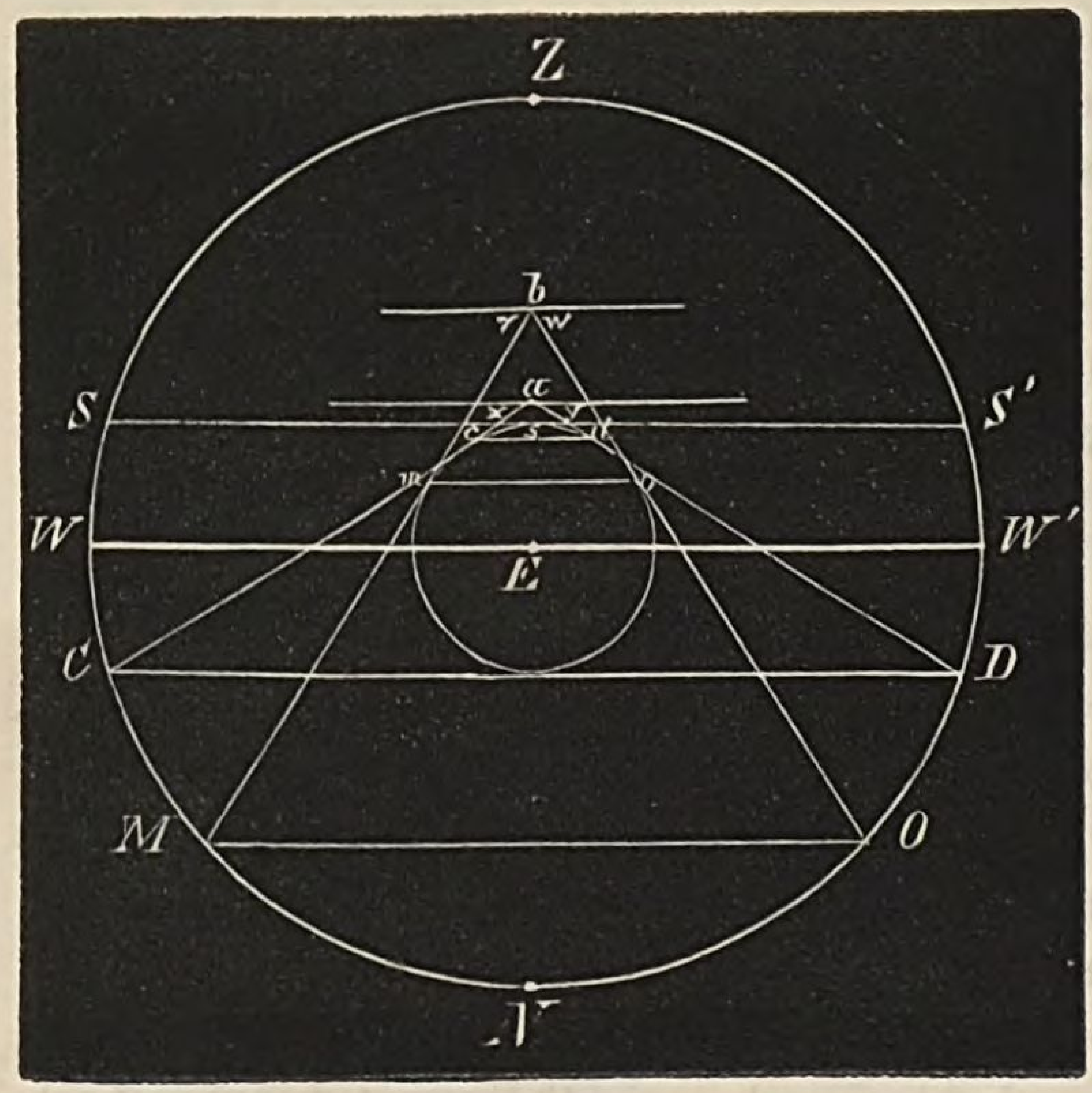
III. Erklärung der scheinbaren Bewegungen an Sonne Mond und Sternen in verschiedenen Breiten.

Bisher hatten wir bei der Erklärung der scheinbaren Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen besonders unsere Breiten im Auge, um uns zuerst über die uns zunächst umgebenden Erscheinungen aufzuklären. Gewiß aber ist es interessant zu lernen, wie diese Erscheinungen sich für die verschiedenen

Breiten gestalten. Da wir in dem Bisherigen hierfür bereits genügenden Anhalt gewonnen haben, so scheint hier der geeigneteste Ort für eine Betrachtung der bezeichneten Erscheinungen zu sein. Zu einem besseren Verständnis aber ist es nöthig, noch einige mehr eingehende Bemerkungen über den Horizont vorauszuschicken.

1. **Natürlicher, astronomischer und wahrer Horizont.** Im Anfange des Buches, S. 1, haben wir den Horizont als die Kreislinie kennen gelernt, in der Himmel und Erde sich scheinbar berühren, und die Entstehung dieser Kreislinie durch unsere Gesichtslinien ist, S. 74, ebenfalls schon angedeutet worden. Bedeutet in *Fig. 40* der kleine Kreis *E* die Erde und der große mit ihm concentrische die Himmelskugel, so berührt eine von dem Punkte *a* ausgehende Gesichtslinie die Erdoberfläche in dem Punkte *c*, der mit dem Punkte *C* der Himmelskugel optisch zusammenfällt. Denken wir uns den Beobachter sich einmal um sich selbst drehen, so beschreibt die von seinem Auge ausgehende Gesichtslinie den Mantel eines Kegels, dessen Spitze *a* im Auge des Beobachters, und dessen Grundlinie *CD* am Himmel liegt. Die Summe der Berührungspunkte der Gesichtslinie an der Erdoberfläche bildet dann die Kreislinie *cd*, welche die von *a* aus überschaute Fläche der Erde begrenzt und mit der Kreislinie *CD* am Himmel scheinbar zusammenfällt. Die Kreislinie *cd* oder die mit ihr optisch zusammenfallende *CD* nennt man den natürlichen Horizont des Punktes *a*. Er theilt den Himmel in einen sichtbaren und in einen unsichtbaren Theil; jener ist in der Figur durch den Bogen *CZD*, dieser durch *CND* bezeichnet. Nimmt man den Standpunkt höher, etwa in *b*, so bezeichnet die Kreislinie *mo* und die mit ihr zusammenfallende *MO* den natürlichen Horizont für *b*. Vom Himmel ist nun der Theil *MZO* sichtbar und *MNO* unsichtbar. Jedenfalls ist der sichtbare Theil größer, der unsichtbare kleiner geworden, so daß man also den Satz aussprechen kann: Je höher man seinen Standpunkt nimmt, desto größer wird der sichtbare Theil des Himmels.

Fig. 40.



Denkt man sich durch den Standpunkt eines Beobachters eine Tangentialebene an die Erdoberfläche gelegt und bis zum Himmel erweitert, so heißt diese Ebene oder die Kreislinie, in der sie den Himmel trifft, der astronomische

oder scheinbare Horizont jenes Punktes. So ist in der *Fig. 40* SS' der astronomische Horizont des Punktes s.

Legt man sich parallel mit dem scheinbaren Horizonte eines Ortes eine Ebene durch den Erdmittelpunkt, so heißt diese ebenfalls bis zum Himmel erweitert gedachte Ebene der wahre Horizont des Ortes. In *Fig. 40* ist WW' der wahre Horizont des Ortes s.

Da eine Kugel nur durch einen Schnitt durch den Mittelpunkt oder durch einen größten Kreis halbirt wird, so theilt (nach der Zeichnung) nur der wahre Horizont den Himmel in zwei gleiche Theile. Der scheinbare Horizont ist von dem wahren stets um die Länge des Erdhalbmessers, d. i. ungefähr 860 geogr. Mln., entfernt, und er kann deshalb, streng genommen, den Himmel nicht halbiren; das über ihm liegende Stück des Himmels müßte eigentlich um eine Zone von der Breite des Erdhalbmessers kleiner sein als die unter ihm gelegene. Da indessen die Entfernung der Fixsterne von der Erde fast unermeßlich groß ist (der nächste Fixstern ist nicht weniger als 4 bill. Mln. entfernt), so ist dieser Entfernung gegenüber der Erdhalbmesser eine verschwindend kleine Größe, die Erde selbst fast nur ein Punkt im Weltall, und darum können in Beziehung auf die Fixsterne der scheinbare und der wahre Horizont als zusammenfallend angesehen werden, so daß ein Fixstern für den scheinbaren Horizont in demselben Augenblicke auf- und untergeht, wie für den wahren. — Man kann sich die Sache durch eine täglich zu machende Erfahrung plausibel machen. Sieht man die Schienen einer in gerader Richtung sich hinziehenden Eisenbahn entlang, so scheinen dieselben, wenn die Entfernung groß genug ist, in einem Punkte zusammenzulaufen. Ginge nun an dieser Stelle eine Person quer über die Bahn, so würden zwei Beobachter, von denen jeder eine Schiene entlang sähe, jene Person in demselben Momente auf beiden Schienen sehen. Anders wäre die Sache, wenn das Passiren der Bahn in geringerer Entfernung, an einer Stelle geschähe, wo die scheinbare Vereinigung der Schienen in einen Punkt noch nicht stattgefunden hat. In diesem Falle würde für beide Beobachter das Ueberschreiten der Schienen nicht in demselben Momente gesehen werden.

Wie jene Schienen in einen Punkt, so würden uns die Ebenen der beiden in Rede stehenden Horizonte, wären sie anders sichtbar, bis zu den Fixsternen verlängert, in eine Kreislinie zusammenzulaufen scheinen, so daß also ein solcher Stern für ein Auge im Erdmittelpunkte und für ein anderes an der Erdoberfläche in demselben Momente auf- und untergehen muß. Anders gestaltet sich die Sache für die der Erde näheren Sterne, für die Sonne, den Mond, die Planeten und die Kometen. Bei diesen ist für beide Horizonte ein Zeitunterschied beim Auf- und Untergange merklich, und es kommt dieser Unterschied in der sogenannten Horizontal-Parallaxe dieser Sterne zum Ausdruck, von der später die Rede sein wird.

Vergleicht man alle bis jetzt besprochenen Horizonte mit einander, so sieht man leicht, daß alle drei mit einander parallel laufen, daß aber der natürliche

Horizont tiefer als die beiden andern liegt, und zwar um so tiefer, je höher der Standpunkt genommen wird. Die tiefere Lage des natürlichen Horizontes mißt man durch den Winkel, welchen die vom Auge des Beobachters ausgehende Tangente an der Erdoberfläche mit der Ebene des scheinbaren Horizontes oder einer diesem parallelen Linie bildet. Man pflegt diesen Winkel die Kimmtiefe oder die Depression (Herabdrückung) des natürlichen Horizontes zu nennen. So ist der Winkel x oder y die Depression des natürlichen Horizontes für den Punkt a, und Winkel v oder w die für den Punkt b. Aus der folgenden Zusammenstellung ist die Größe der Depression für einige Höhen zu ersehen.

Absolute Höhe in Preuß. Fuß:	Depression des natürlichen Horizontes:		
0′	0°	0′	0″
10	—	3	24
100	—	10	48
1000	—	34	—
5000	1	16	—
10000	1	48	—

Hieraus folgt, daß es doch nicht ganz gleichgiltig ist, ob man körperlich groß oder klein sei. Ein größerer Mensch sieht mehr von dem gestirnten Himmel, und die Sonne früher auf- und später untergehen als ein kleinerer. Die Differenz ist indessen für die gewöhnliche Größe eines Menschen so unerheblich, daß wir in dem Folgenden von ihr ganz absehen, und auch den natürlichen Horizont als den Himmel halbirend ansehen wollen.

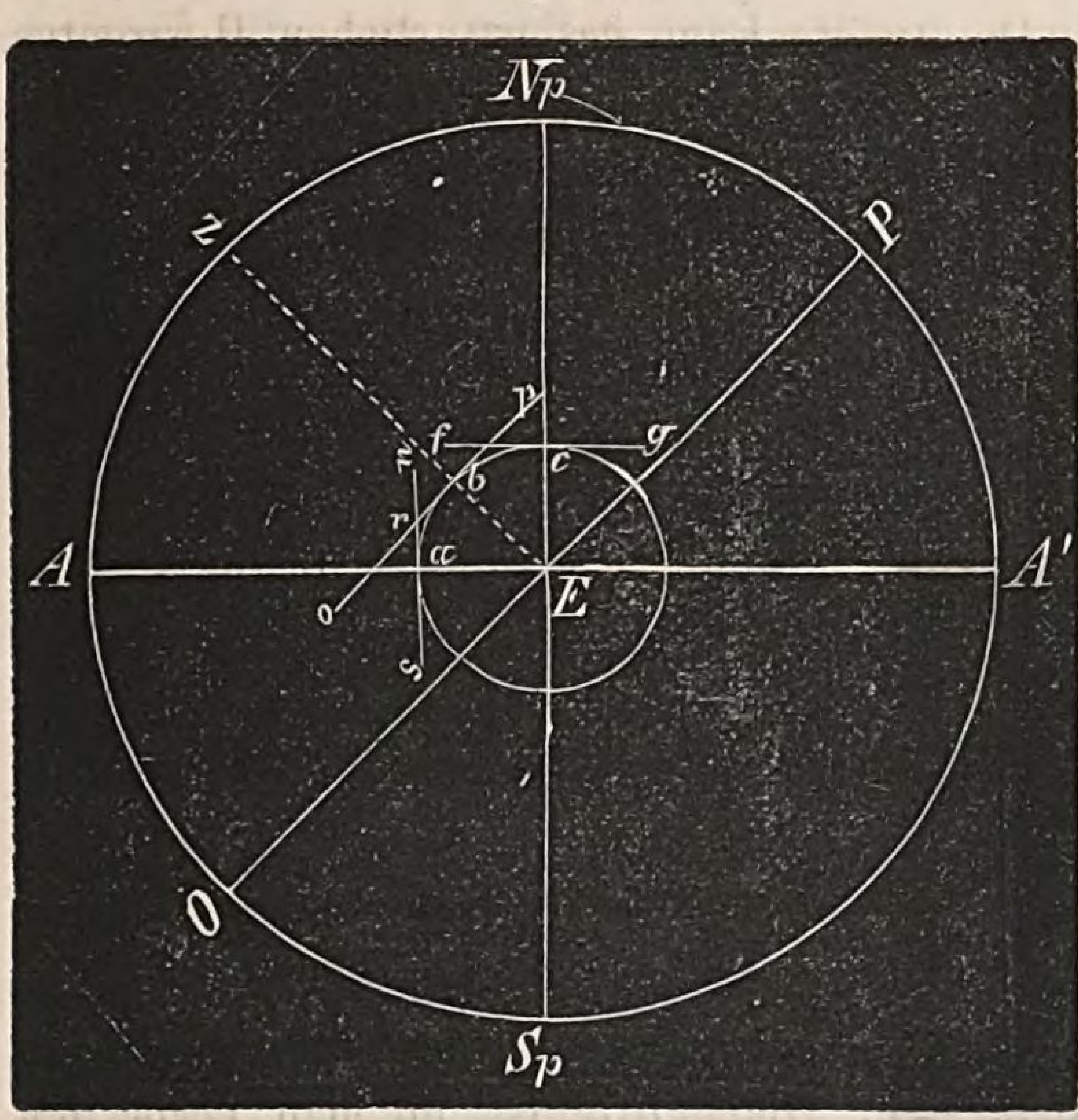
Jeder Ort auf der Erde hat seinen eigenen scheinbaren und wahren Horizont; zugleich haben dieselben für jeden Ort eine besondere Lage.

Da die Ebenen der Horizonte stets senkrecht auf den Erdhalbmessern stehen, so ist der Winkel, den die Horizonte zweier Oerter mit einander bilden, gleich dem Winkel, den zwei nach jenen Oertern gehende Erdhalbmesser am Mittelpunkte der Erde bilden. Für Oerter, die 10, 20, 30 Grade von einander entfernt sind, beträgt dieser Winkel also resp. 10, 20, 30 Grade. Reiset man daher in einem Meridian von dem Aequator zu den Polen, so macht der Horizont für jeden neuen Ort mit dem Horizonte am Aequator einen Winkel, welcher der geogr. Breite des Ortes gleich ist, und in demselben Maße schreitet das Zenith am Himmel fort.

2. **Veranschaulichung.** Stellt in *Fig. 41* der kleine Kreis E wieder die Erde und der große Kreis die mit ihr concentrische Himmelskugel, $Np\,Sp$ die Himmelsachse und AA' den Aequator vor; so bezeichnet sn die Lage des scheinbaren, $Sp\,Np$ die des wahren Horizontes des Ortes a im Erdäquator. Der wahre Horizont geht also durch die Achse, und die Polhöhe ist mithin, wie die geogr. Breite, $= 0^{\circ}$. Das Zenith des Punktes a liegt in A, im Himmelsäquator.

Schreitet man von a bis b fort, so bleibt der Horizont nicht parallel der Achse, sondern indem das Nordende desselben sich senkt, macht er mit der

Fig. 41.



Achse und dem ersten Horizonte in *a* einen Winkel, der fort und fort zunimmt, bis er in *b*, in 45° nördlicher Breite, zu 45° angewachsen ist. In *Fig. 41* bezeichnet *op* den scheinbaren, *OP* den wahren Horizont des Ortes *b*. Hier ist sowohl der Winkel *bpE*, als auch Winkel *ora* = 45°. Ebenso groß ist aber auch die Zenithdistanz des Aequators, *Az*, und die Polhöhe *PNp*.

Geht man bis zum Nordpol der Erde, bis *c* fort, so nimmt der scheinbare Horizont die Lage *fg*, der wahre die von *AA'* an. Beide stehen senkrecht auf der Achse, und der letztere fällt mit dem Himmelsäquator zusammen. Die Polhöhe *ANp* ist darum = 90°, d. i. gleich der geogr. Breite, und ebenso groß ist die Zenithdistanz des Aequators, da das Zenith den Nordpol des Himmels trifft.

Das Gesagte wird genügen, die Verschiedenheit der Lage des Horizontes in verschiedenen Breiten, zugleich aber auch den Satz klar zu machen, daß die Polhöhe eines Ortes stets der geogr. Breite desselben gleich sein müsse.

Hierdurch aber sind wir in den Stand gesetzt, mit Leichtigkeit den Verlauf der scheinbaren Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen für irgend einen beliebigen Ort der Erde zu construiren.

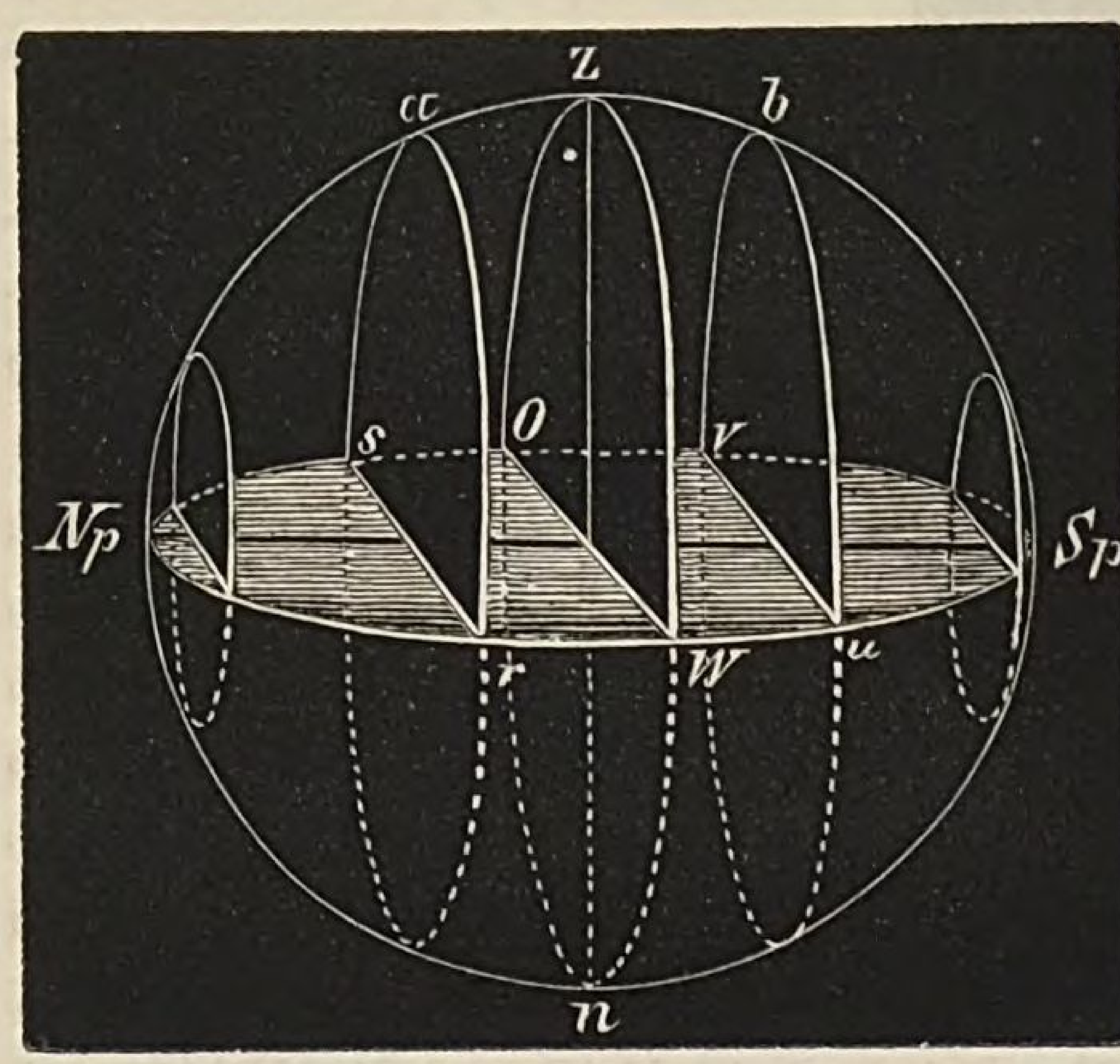
A. Erscheinungen für den Aequator.

Für den Aequator ist nach dem Vorigen der scheinbare Horizont parallel mit der Erd- und Himmelsachse, der wahre Horizont aber fällt mit der letzteren ganz zusammen. Der Himmel mit den wichtigsten Parallelkreisen, dem Aequator, den beiden Wende- und Polarkreisen, wird daher die in *Fig. 42* dargestellte Lage zum Horizonte haben. Beide Pole, *Np* und *Sp*, liegen im Horizonte; die Polhöhe ist also = 0°, und der Nordpol fällt daher mit dem Nordpunkte, der Südpol mit dem Südpunkte des Horizontes, die Mittagslinie aber mit der Drehungsachse zusammen. Der Himmelsäquator geht durch das Zenith *z* und das Nadir *n*, steht also senkrecht auf dem Horizonte, so daß die Aequatorhöhe 90° beträgt. Da alle Parallelkreise mit dem Aequator parallel laufen, stehen auch diese senkrecht auf dem Horizonte. Diese Lage des Him-

mels zum Horizonte nennt man die senkrechte Sphäre (*sphaera recta*). Bei ihr werden alle Parallelkreise durch den Horizont halbirt, und alle Gestirne müssen senkrecht emporsteigen und untergehen.

Indem die Erde rotirt, beschreibt der scheinbare Horizont eines Ortes des Aequators den Mantel eines Cylinders, wobei er sich täglich einmal um die Mittagslinie dreht, während die Bewegung des wahren Horizontes eine Bewegung um die Erd- oder Himmelsachse ist.

Fig. 42.



Es ist nun in Verbindung mit dem Früheren leicht einzusehen, wie sich die Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen für die Bewohner des Erdäquators darstellen müssen.

1. **Die Bewegung der Sonne.** Alle Morgen um 6 Uhr steigt die Sonne am östlichen Himmel senkrecht empor, um nach 12 Stdn., um 6 Uhr abends, am westlichen Himmel senkrecht sich unter den Horizont hinabzusenken. Tag und Nacht sind also am Aequator jahraus jahrein von gleicher Länge; es giebt keinen längsten und keinen kürzesten Tag.

Am 21. März geht die Sonne nach kurzer Morgendämmerung im Ostpunkte *O* auf und strebt im Laufe des Vormittags auf dem kürzesten Wege zum Zenith hinauf, das sie am Mittage erreicht. Ihre sengenden Strahlen fallen nun lothrecht zur Erde herab, die ganze Landschaft mit dem hellsten Lichte bestrahlend. Bei allen senkrecht aufrecht stehenden Gegenständen ist der bei uns nie fehlende Schatten verschwunden, indem die Dinge ihren eigenen Schatten verdecken. Sie sind unschattig. Die meisten lebenden Wesen aber fliehen zu Mittag die versengenden Strahlen der Sonne.

Während des Nachmittags senkt sich die Sonne wieder senkrecht zum Horizonte hinab und geht abends 6 Uhr im Westpunkte *W* unter, um nach kurzer Abenddämmerung der herrlichen, sternbeglänzten Tropennacht zu weichen. Um Mitternacht culminirt die Sonne unter dem Horizonte im Nadir.

Nach dem 21. März wendet sich der Aufgangspunkt der Sonne, wie in unseren Breiten, nur weniger merklich, nach N. Sie bekommt nördliche Morgen- und Abendweite und culminirt ein halbes Jahr lang nördlich vom Zenithe, so daß die Dinge zu Mittag einen nach S. gerichteten, ziemlich kurzen Schatten werfen. Am längsten ist derselbe am 21. Juni.

An diesem Tage geht die Sonne in $23^1/_2{}^0$ nördlicher Morgenweite in *s* auf, culminirt zu Mittag $23^1/_2{}^0$ nördlich vom Zenithe in $66^1/_2{}^0$ Höhe in *a* und geht, nachdem sie als Tagbogen scheinbar den halben nördlichen Wendekreis *s a r*

beschrieben, in 23½° nördlicher Abendweite um 6 Uhr abends in *r* unter. — Am 21. Juni hat die Sonne 23½° nördlicher Declination; da aber der Horizont am Aequator alle Tagkreise rechtwinklig durchschneidet, so sind hier Morgen- und Abendweite stets der Declination gleich.

Vom 21. Juni bis zum 23. September wendet sich die Sonne wieder zum Aequator zurück, um am letzteren Tage wieder, wie am 21. März, im Ostpunkte *O* aufzugehen, im Zenithe *z* zu Mittage zu culminiren und im Westpunkte *W* unterzugehen. Darauf rückt die Sonne bis zum 21. December nach *S*, geht an diesem Tage in 23½° südlicher Morgenweite in *v* auf, culminirt zu Mittag 23½° südlich vom Zenith in 66½° Höhe in *b*, so daß der Schatten der Dinge nach N. gerichtet ist, und geht, wie täglich, um 6 Uhr abends, aber in 23½° südlicher Abendweite in *u* unter, nachdem sie als Tagbogen die Hälfte des südlichen Wendekreises *v b u* durchlaufen hat. Bis zum 21. März kehrt die Sonne wieder zum Aequator zurück, um in angedeuteter Weise von neuem ihren Lauf zu beginnen.

Die Aequatorbewohner sehen also die Sonne zu Mittag, abweichend von den Erscheinungen in unseren Breiten, ein halbes Jahr lang nach N. und ein halbes Jahr lang nach S., und zweimal im Jahre, am 21. März und am 23. September, im Zenith, wobei sie unschattig sind. Unschattig werden auch alle zwischen den beiden Wendekreisen wohnenden Menschen, nur liegen die Zeiten der Unschattigkeit hier nicht ein halbes Jahr auseinander. Man pflegt darum alle Bewohner der Erde zwischen den beiden Wendekreisen wohl unschattig zu nennen. Weil indessen der Schatten zu Mittag abwechselnd nach N. und nach S. fällt, werden sie auch wohl zweischattig genannt.

Wegen der senkrechten Lage der Tagkreise zum Horizonte wird die Dämmerungszone in der kürzesten Zeit durchlaufen; darum ist am Aequator die Dämmerung am kürzesten auf der Erde. Die Nacht geht schnell in den hellen Tag und dieser umgekehrt in die dunkle Nacht über, eine Thatsache, die von Reisenden aus höheren Breiten sehr auffällig empfunden wird. Da die Dämmerungszone eine Breite von 18° hat, so währt die astronomische Dämmerung unter dem Aequator 18 × 4 Min. = 1 Std. 12 Min., die bürgerliche hingegen etwa 6 × 4 Min. = 24 Min. Am Aequator würden wir daher der angenehmen hellen Sommerabende und der hellen Nächte gänzlich entbehren.

2. **Die Bewegung des Mondes.** Die scheinbare Bewegung des Mondes wird man sich nach der vorstehenden Beschreibung des Sonnenlaufs und mit Hilfe der S. 44 ff. beschriebenen Bewegung desselben für Berlin wohl construiren können. Hier sei nur bemerkt, daß auch er am Aequator senkrecht auf- und untergeht und täglich 12 Stdn. über dem Horizonte verweilt; daß er aber wegen der Abweichung seiner Bahn von der Ekliptik sich 5°,1 weiter als die Sonne nach N. und nach S. entfernen, und diese Entfernung daher bis auf 28°,6 gehen kann. Auffallen würde uns aber die eigenthümliche Lage der Mondsichel; wir würden sie abwechselnd, um so zu sagen, auf dem Rücken ◡ und auf den Hörnern ◠ liegend finden, während der Mond bei uns mehr oder

weniger aufrecht steht. Jene eigenthümliche Lage hat ihre Ursache in dem großen Winkel, welchen die Ekliptik beständig mit dem Horizonte macht.

3. **Die Bewegung der Sterne.** Daß auch alle Sterne am Aequator senkrecht auf- und untergehen müssen, versteht sich nach dem Gesagten von selbst. Der Umstand aber, daß der wahre Horizont am Aequator durch die Achse geht, und darum als ein Declinationskreis des Himmels (S. 64) angesehen werden kann, bewirkt in Verbindung mit der senkrechten Aufsteigung (*ascensio recta*) der Sterne, daß für je zwei Sterne nicht nur der zwischen ihrer Culmination in dem Meridian, sondern auch der zwischen ihrem Auf- und Untergange liegende Zeitunterschied ein Maß für die Rectascensionen ist, was in unsern Breiten bekanntlich nicht der Fall ist. Der Name »Rectascension« ist also von dem geraden Aufsteigen der Sterne am Aequator hergenommen.

Unter allen Bewohnern der Erde ist der Aequatorbewohner in Beziehung auf den Anblick des gestirnten Himmels am meisten bevorzugt. Denn kein Stern bleibt ihm beständig unter dem Horizonte, und Circumpolarsterne existiren für ihn nicht. Sein Blick reicht von Pol zu Pol, und im Laufe eines Jahres hat sich jeder Stern zur Nachtzeit seiner Betrachtung dargeboten. In dieser Beziehung sagt *Alex. v. Humboldt* im zweiten Bande seiner Ansichten der Natur (Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse): »So hat die Natur dem Menschen in der heißen Zone verliehen, ohne seine Heimath zu verlassen, alle Pflanzengestalten der Erde zu sehen, wie das Himmelsgewölbe von Pol zu Pol ihm keine seiner leuchtenden Welten verbirgt.«

Aber nicht nur in Beziehung auf die Zahl der gesehenen Sterne, sondern auch hinsichtlich der Pracht, mit der sie am Himmel glänzen, ist der Aequatorbewohner vor den Bewohnern höherer Breiten bevorzugt. Die reinere, von trübenden Dünsten freiere Luft läßt den Himmel in einem tiefen Blau erscheinen, auf dem die Sterne, meist mit ruhigem, planetarischem Lichte glänzend, sich prächtig abheben. Man glaubt tiefer in den Himmel hineinzuschauen und entdeckt Sterne, die sich in unserer trüberen Atmosphäre fast immer unsern Blicken entziehen.

B. Erscheinungen für den nördlichen Wendekreis.

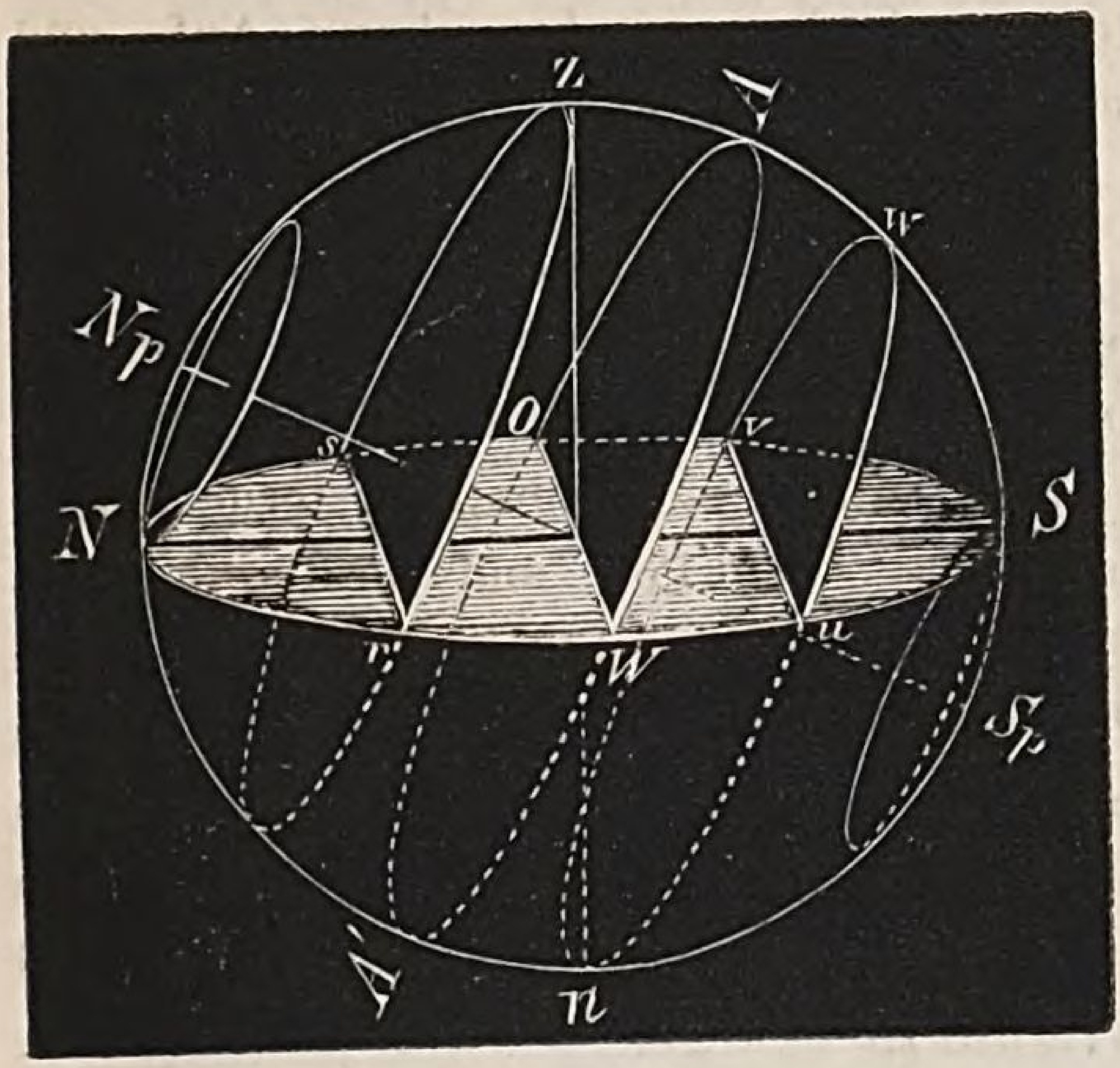
Wendet man sich vom Aequator zu dem nördlichen Wendekreise in $23^1/_2{}^0$ nördlicher Breite, so steigt, indem sich das Nordende des Horizontes allmählich $23^1/_2{}^0$ unter den Nordpol hinabsenkt, dieser scheinbar von Norden her $23^1/_2{}^0$ über den Horizont herauf, während der Südpol des Himmels um die genannte Größe unter den Horizont hinabsinkt.

Die Himmelskugel mit ihren wichtigsten Parallelkreisen hat demnach für alle Oerter des nördlichen Wendekreises die in *Fig. 43* dargestellte Lage.

Die Polhöhe, NNp, ist $= 23^1/_2{}^0$, und ebenso groß ist die Zenithdistanz des Aequators zA. Die Aequatorhöhe, SA, ist $= 66^1/_2{}^0$; die Parallelkreise stehen also nicht mehr senkrecht auf dem Horizonte, sondern sind gegen den-

selben um einen Winkel von $66^1/_2{}^0$ geneigt. Nur der Aequator wird durch den Horizont halbirt. Indem nun die Erde von W. nach O. rotirt, beschreibt die Mittagslinie den Mantel eines Kegels; dabei zeichnet der Nordpunkt des Horizontes bei jeder Umdrehung der Erde gleichsam den nördlichen, ganz über, der Südpunkt den südlichen, ganz unter dem Horizonte liegenden Polarkreis auf den Himmel.

Fig. 43.



Wie hiernach die Bewegungen der Sonne und der Sterne sich gestalten müssen, ist leicht einzusehen; wir zeichnen sie deshalb nur mit wenigen Worten.

Am 21. März morgens 6 Uhr geht die Sonne im Ostpunkte auf. Zu Mittag culminirt sie $23^1/_2{}^0$ südlich vom Zenith, mithin in einer Höhe von $66^1/_2{}^0$, und abends 6 Uhr geht sie im Westpunkte unter; Tag und Nacht sind also gleich lang. Der Tagkreis der Sonne war, wie auf der ganzen Erde am genannten Tage, der Aequator.

Bis zum 21. Juni wendet sich die Sonne nach N. Sie geht an diesem Tage in etwa 26^0 nördlicher Morgenweite in *s*, um $5^1/_4$ Uhr morgens auf, erreicht zu Mittag im nördlichen Wendekreise das Zenith *z*, scheint also senkrecht herab und macht die Bewohner unschattig, und geht abends $6^3/_4$ Uhr in 26^0 nördlicher Abendweite in *r* unter. Der längste Tag aller Oerter des nördlichen Wendekreises der Erde ist demnach $= 13^1/_2$ Stdn., die kürzeste Nacht daher $= 10^1/_2$ Stdn.

Am 23. September ist die Sonne wieder zum Himmelsäquator zurückgekehrt, und es treten daher dieselben Verhältnisse wie am 21. März ein.

Bis zum 21. December rücken die Tagkreise der Sonne bis zum südlichen Wendekreise hinab. Wenn dieser am genannten Tage durchlaufen wird, geht die Sonne in 26^0 südlicher Morgenweite in *v* um $6^3/_4$ Uhr morgens auf, erreicht zu Mittag in *w* eine Höhe von $66^1/_2{}^0 - 23^1/_2{}^0 = 43^0$, *Sw*, hat also 47^0 Zenithdistanz, *zw*, und sinkt um $5^1/_4$ Uhr abends in 26^0 südlicher Abendweite unter den Horizont. Der kürzeste Tag war $= 10^1/_2$ Stdn., die längste Nacht $= 13^1/_2$ Stdn.

Indem sich die Sonne wieder nach N. wendet, erneuern sich mit dem 21. März die angedeuteten Verhältnisse.

Die größere Zenithdistanz von 47^0, welche die Sonne auf dem nördlichen Wendekreise erlangt, muß natürlich in den einzelnen Monaten des Jahres eine größere Wärmedifferenz als am Aequator hervorrufen; es ist darum bereits ein

ähnlicher Wechsel der Jahreszeiten wie bei uns, wenn auch nicht streng ausgeprägt, so doch angedeutet.

Da die Sonne nicht mehr senkrecht, sondern schief auf- und untergeht, so muß die Dämmerung auf dem Wendekreise länger sein als am Aequator; indessen ist sie doch immer noch beträchtlich kürzer als in unseren Breiten.

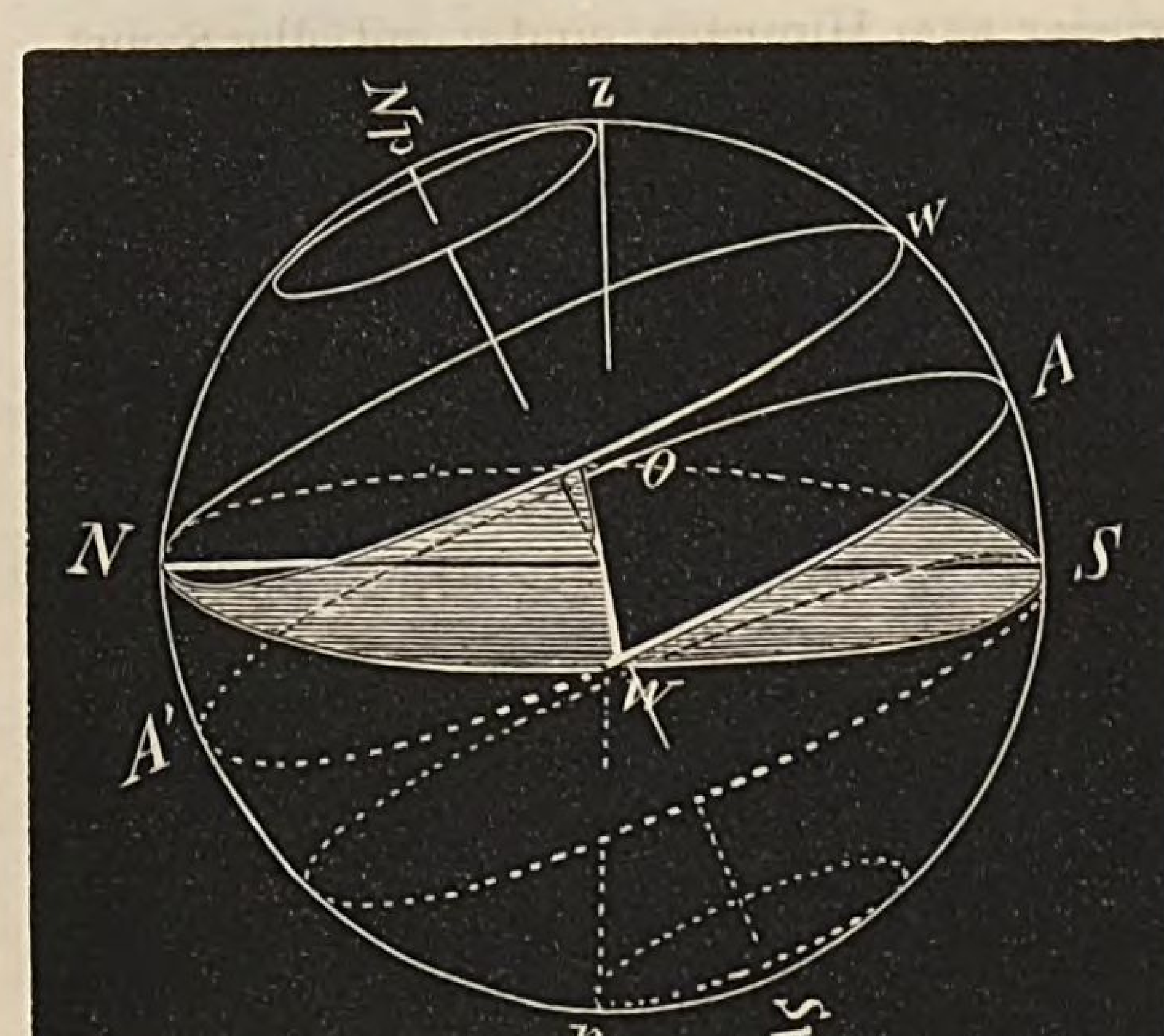
Die Bewegung der Sterne. Was den Anblick des gestirnten Himmels betrifft, so sind die bestehenden Verhältnisse leicht aus *Fig. 43* zu erkennen. Der Blick des Wendekreis-Bewohners reicht nicht mehr von Pol zu Pol. Sein gegen die Achse um einen Winkel von $23\frac{1}{2}^0$ geneigter Horizont verbirgt ihm bereits die vom südlichen Polarkreise umschlossenen Sterne des südlichen Himmels. Doch entbehrt er damit nicht viel, da der Südpol sehr arm an glänzenden Sternen ist. Das schöne Kreuz des Südens, die Zierde des südlichen Himmels, sieht er noch einige Stunden tief im Süden über seinem Horizonte. Am nördlichen Himmel dagegen umkreisen die vom nördlichen Polarkreise umschlossenen Sterne als Circumpolarsterne den Nordpol.

C. Die Erscheinungen auf dem südlichen Wendekreise

sind den oben beschriebenen durchaus ähnlich, nur mit dem Unterschiede, daß nicht der Nord-, sondern der Südpol eine Höhe von $23\frac{1}{2}^0$ hat, daß daher alle Tagbogen nach N. geneigt sind, und die Sonne nicht von O. durch S. nach W., sondern von O. durch N. nach W. sich zu bewegen scheint. Die Schatten sind zu Mittage also nach S. gerichtet. Außerdem tritt der längste Tag und mit ihm der Sommer nicht am 21. Juni, sondern am 21. December, der Frühlingsanfang nicht am 21. März, sondern am 23. September ein u. s. w. Die Jahreszeiten sind also denen auf dem nördlichen Wendekreise entgegengesetzt.

D. Die Erscheinungen für den nördlichen Polarkreis.

Fig. 44.



Auf dem nördlichen Polarkreise der Erde, in $66\frac{1}{2}^0$ nördlicher Breite, beträgt die Polhöhe *NNp, Fig. 44,* sowie die Zenithdistanz des Aequators *zA*, $66\frac{1}{2}^0$; die Aequatorhöhe *SA* ist darum gleich $90 - 66\frac{1}{2}^0 = 23\frac{1}{2}^0$, und unter diesem Winkel sind alle Parallelkreise des Himmels gegen den Horizont geneigt. Halbirt wird von diesen Kreisen wiederum nur der Aequator.

Am 21. März geht auch für den Polarkreis-Bewohner die Sonne um 6 Uhr morgens im Ostpunkte *O* auf. Zu Mittag erreicht sie im

Aequator eine Höhe von $23^1/_2{}^0$, und um 6 Uhr abends sinkt sie im Westpunkte *W* unter den Horizont hinab, nachdem sie 12 Stdn. geschienen; um Mitternacht aber steht sie in *A'* $23^1/_2{}^0$ unter dem Horizonte.

Indem sich nun die Sonne nach N. wendet, nehmen wegen der schiefen Lage der Tagkreise zum Horizonte Morgen- und Abendweite sowie die Tageslängen sehr schnell zu, und schon in den ersten Tagen des April beginnen die 5 Monate währenden hellen Nächte.

Am 21. Juni wird der nördliche Wendekreis durchlaufen; dieser liegt aber, wie die Figur zeigt, ganz über dem Horizonte und streift diesen nur im Nordpunkte. Darum geht am genannten Tage die Sonne (wenn man so sagen will) um Mitternacht in 90^0 Morgenweite im Nordpunkte *N* auf, und nach 24 Stdn. in demselben Punkte in 90^0 südlicher Abendweite unter, d. h. sie geht gar nicht unter, sondern durchläuft ihren ganzen Tagkreis über dem Horizonte; dabei erreicht sie zu Mittag ihre größte Höhe *SW* von 47^0 und um Mitternacht ihre kleinste Höhe von 0^0. Der längste Tag für den nördlichen Polarkreis ist = 24 Stdn. Streng genommen ist dies indessen nicht richtig, da die Strahlenbrechung die Sonne nicht unbeträchtlich über den Horizont heraufhebt, so daß schon mehrere Tage vor dem 21. Juni sowie nach demselben die Sonne nicht untergeht. Aber selbst dann, wenn nach dem 21. Juni die Sonne sich um Mitternacht den Blicken auf einige Zeit entzieht, läßt es die helle Dämmerung noch lange nicht zu eigentlichen Nächten kommen. Reisende, welche, um die Sonne nicht untergehen zu sehen, die nördlichen Gegenden Norwegens und Schwedens, namentlich die jetzt zu Rußland gehörende Stadt Torneå in 65^0 50' nördlicher Breite besuchen, können den eigenthümlichen Reiz dieser hellen Nächte nicht genug preisen.

Vom 21. Juni bis zum 23. September wendet sich die Sonne in umgekehrter Weise dem Aequator wieder zu, und Tag und Nacht sind an diesem Tage zum zweitenmale im Jahre gleich lang. Von nun an nehmen aber, indem die Sonne nach S. rückt, die Tage sehr schnell ab, Morgen- und Abendweite aber sehr schnell zu, bis diese am 21. December = 90^0 geworden sind, und die Sonne, den südlichen Wendekreis beschreibend, ihren ganzen Tagkreis unter dem Horizonte zurücklegt. Die Strahlenbrechung indessen hebt sie mittags zu geringer Höhe über den Horizont empor.

Man pflegt dessen ungeachtet zu sagen: Die längste Nacht des nördlichen Polarkreises ist = 24 Stdn. Genau genommen würde dies nur der Fall sein, wenn die Erde keine Atmosphäre hätte, und wenn als das Ende des Tages der Moment angenommen wird, in welchem der Mittelpunkt der Sonne in den Horizont tritt, um unterzusinken.

Wenn die Sonne am 21. März den Aequator wieder erreicht hat, wiederholt sich der angedeutete Verlauf der Erscheinungen von neuem.

Die sehr schiefe Lage der Tagkreise zum Horizonte ruft nothwendig eine sehr lange Dämmerung hervor, und dies wird in diesen nördlichen Gegenden zu einer großen Wohlthat, indem dadurch die sehr langen Winternächte um viele Stunden verkürzt werden.

Aber auch der Mond wird in diesen Nächten zum Wohlthäter; denn gleich der Sonne am längsten Tage verweilt er im Winter als Vollmond, da er als solcher in Opposition mit der Sonne steht, die ganze 24 Stdn. lange Nacht hindurch über dem Horizonte, wofür er aber freilich im Sommer, um die etwanigen Bewohner des südlichen Polarkreises einer ähnlichen Wohlthat theilhaftig zu machen, als Vollmond sich gar nicht blicken läßt. Wie sein Lauf in den einzelnen Phasen sich gestalten muß, wird keiner weiteren Ausführung bedürfen.

Die Bewegung der Sterne. In Beziehung auf den Anblick des gestirnten Himmels sind die Polarkreis-Bewohner noch ungünstiger daran als die Bewohner der Wendekreise, sowohl in Ansehung der Menge der Sterne, die von ihnen gesehen werden können, als auch hinsichtlich des in der dichteren Atmosphäre geschwächten Glanzes, mit dem sie sich ihnen darstellen. Die meisten Sterne des südlichen Himmels, nämlich alle zwischen dem Südpol und dem südlichen Wendekreise gelegenen, treten nie über den Horizont, wogegen die Mehrzahl der Sterne des nördlichen Himmels, alle Sterne zwischen dem Nordpol und dem nördlichen Wendekreise, als Circumpolarsterne nicht untersinken. Die auf- und untergehenden Sterne liegen in einer Zone von 47° Breite, $23\frac{1}{2}°$ nördlich und ebenso weit südlich vom Aequator.

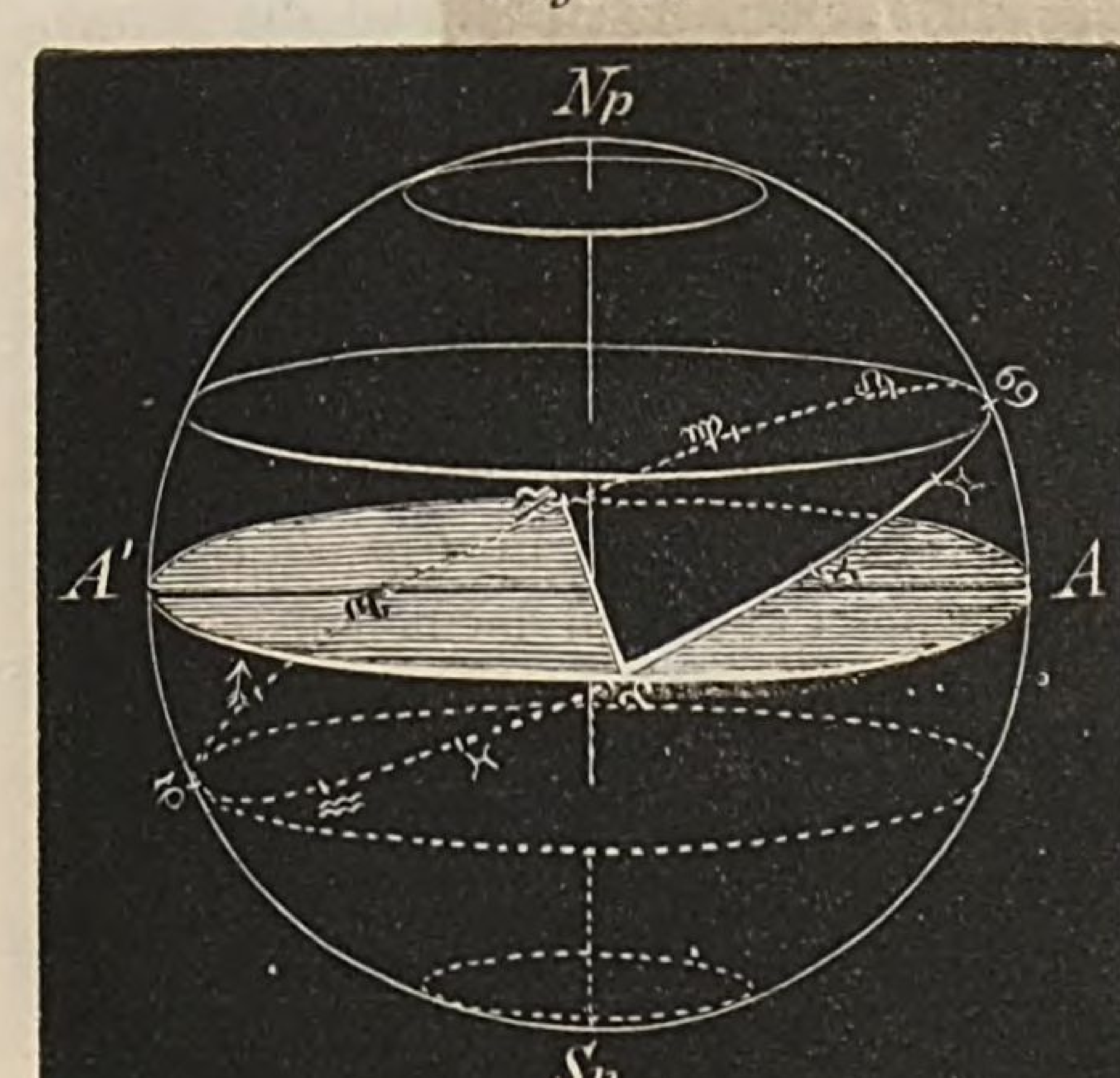
E. Die Erscheinungen für den südlichen Polarkreis

hier näher anzugeben, wird überflüssig sein. Es finden im allgemeinen dieselben Verhältnisse wie am nördlichen Polarkreise statt, nur sind alle Tagkreise nach N. geneigt, und nicht der Nord-, sondern der Südpol liegt über dem Horizonte. Außerdem sind die Jahreszeiten denen des nördlichen Polarkreises entgegengesetzt. Der Sommer beginnt am 21. December mit dem 24stündigen Tage, der Winter am 21. Juni mit der 24stündigen Nacht.

F. Die Erscheinungen für den Nordpol.

Am Nordpol der Erde liegt der Nordpol des Himmels, *Np*, *Fig. 45*, im Zenith. Die Polhöhe *A Np*, ist mithin = 90°, die Aequatorhöhe also = 0°. Alle Parallelkreise aber laufen mit dem Horizonte parallel, und der Aequator *A A'* fällt mit dem letzteren ganz zusammen. Von der Ekliptik ♈ ♋ ♎ ♑ liegt die nördliche Hälfte beständig über, die südliche beständig unter dem Horizonte. Die Aequinoctialpunkte umkreisen fortwährend den Horizont, da die Aequinoctiallinie mit diesem zusammenfällt, und die Ekliptik macht daher mit dem Horizonte den constanten Winkel von $23\frac{1}{2}°$.

Fig. 45.



Wie hiernach der Verlauf der Erscheinungen an Sonne, Mond und Sternen sich gestalten muß, ist nach dem Früheren unschwer zu sagen.*)

Am 21. März erscheint die Sonne, weil im Aequator, auch im Horizonte des Pols und umkreiset denselben, ohne sich über ihn zu erheben. Von einem Auf- und Untergange und einer Culmination der Sonne kann man daher nicht reden; ebenso ist der Unterschied der Himmelsgegenden verschwunden. Es giebt für den Nordpol nur S.; er ist ein Indifferenzpunkt.

Allmählich schraubt sich die Sonne, ohne unterzugehen, höher und höher hinauf, bis sie am 21. Juni, im Sommer-Solstitialpunkt ♋ stehend, den nördlichen Wendekreis in $23\frac{1}{2}^0$ Höhe beschreibt. Am Pol war bisher $\frac{1}{4}$ Jahr lang beständiger Tag, und dieser Tag kann als der Vormittag des langen Polartages angesehen werden, dem der Moment des Eintritts der Sonne in den Sommer-Solstitialpunkt, weil der Moment der größten Höhe, als Mittag folgt. Der Nachmittag dieses langen Tages beginnt nun mit dem erst langsam, dann schneller und schneller erfolgenden Hinabsteigen der Sonne zum Horizont und endet nach 3 Monaten am 23. September, an welchem Tage die Sonne, wie am 21. März, den Horizont umkreiset. Während dieses halbjährigen Tages, der zugleich der Sommer des Poles ist, muß der Schatten aller Gegenstände nach allen Richtungen des Horizontes fallen, und man nennt darum die Polbewohner umschattig.

Der Endpunkt des Schattens eines senkrechten Stabes muß eine aus zwei Schneckenlinien bestehende Curve beschreiben, die beim Hinaufsteigen der Sonne vom 21. März bis zum 21. Juni wegen der eintretenden Verkürzung des Schattens sich von außen nach innen verengt, wie in *Fig. 46 A*, vom 21. Juni

Fig. 46.



bis zum 23. September während des Hinabsteigens der Sonne wegen wachsender Schattenlänge sich von innen nach außen erweitert, wie in *Fig. 46 B*. In diesen Figuren bezeichnet *a* den Anfangspunkt der Curve und der nebenstehende Pfeil die Richtung der Bewegung. Es spiegelt sich in diesen Curven die schraubenförmige Bewegung der Sonne ab.

Nach dem 23. September schraubt sich die Sonne 3 Monate lang unter

*) Die Wirkung der Strahlenbrechung lassen wir hier außer acht.

den Horizont hinab, indem sie anfangs ihre Nähe am Horizont durch einen hellen Schein, der den Horizont umkreiset, und durch eine helle Dämmerung bezeichnet.

In den Winter-Solstitialpunkt tretend, erreicht die Sonne am 21. December den tiefsten Stand von $23^1/_2{}^0$ unter dem Horizonte, und beschreibt als Tagkreis den südlichen Wendekreis. Der Moment des Eintritts der Sonne in den Winter-Solstitialpunkt kann als die Mitternacht des Polartages betrachtet werden. Der neue Tag beginnt nun mit der 3 Monate währenden Annäherung der Sonne an den Horizont, bis am 21. März nach etwa 50tägiger Morgendämmerung der neue Morgen anbricht.

Wegen der parallelen Lage der Tagkreise zum Horizonte erreicht die Dämmerung an dem Pol die bedeutendste Größe. Die Sonne sinkt überhaupt nur $23^1/_2{}^0$ unter den Horizont hinab, und 18^0 Entfernung von diesem darf sie erreichen, ohne daß die Dämmerung gänzlich aufhört. Erst gegen die Mitte des November hat die Sonne 18^0 südliche Declination, und vom 23. September bis zu der genannten Zeit, also etwa 50 Tage, währt darum die Abenddämmerung. Die Morgendämmerung aber beginnt bereits in den letzten Tagen des Januar, etwa 50 Tage vor dem 21. März, so daß im ganzen die lange Polarnacht um etwa 100 Tage oder mehr als 3 Monate durch die lange Dämmerung verkürzt wird.

Aber auch der Mond, von Nordlichtern nicht zu reden, trägt sehr wesentlich zur Erhellung der langen Winternacht bei. Da nämlich die nördliche Hälfte der Ekliptik beständig über dem Horizonte verbleibt, diese aber vom Monde in etwa 14 Tagen durchlaufen wird, so muß der Mond jeden Monat 14 Tage, ohne unterzugehen, aber in verschiedenen Monaten in verschiedenen Phasen, über dem Horizonte verharren. So lange die Sonne über dem Horizonte weilt, umkreiset er mit ihr gemeinschaftlich, aber kaum sichtbar, den Horizont. Anders aber ist es, wenn die Sonne verschwunden ist.

Um den Mondlauf wenigstens für einen Monat anzudeuten, wollen wir annehmen, es sei gegen Anfang des Winters Neumond eingetreten. Als solcher weilt er mit der Sonne unter dem Horizonte, und erst nach 7 Tagen, wenn die Entfernung des Mondes von der Sonne 90^0 beträgt, tritt er als erstes Viertel in den Horizont. In den nun folgenden 7 Tagen aber schraubt er sich, indem er zugleich bis zum Vollmond anwächst, immer höher über den Horizont herauf, bis er als Vollmond, der Sonne gegenüber, in seiner größten Höhe, in der Nähe des nördlichen Wendekreises, sein mildes Licht spendet. Durch neue 7 Tage steigt er allmählich wieder zum Horizonte hinab, bis er diesen ungefähr als letztes Viertel, nachdem er 14 Tage lang ununterbrochen geschienen, erreicht, um nun unter dem Horizonte bis zum nächsten Neumond weiterhin abzunehmen.

Zu bestimmen, in welchen Phasen der Mond zu andern Zeiten des Jahres über dem Horizonte des Nordpols steht, kann nach der eingehenden Betrachtung seiner scheinbaren Bewegung, S. 44ff., keine Schwierigkeit haben.

In Beziehung auf den gestirnten Himmel ist der Polbewohner (?) am meisten im Nachtheile. Ihm ist nur eine und immer dieselbe Hälfte des Fixsternhimmels zu schauen vergönnt, und alle Sterne sind Circumpolarsterne, die in dem Horizonte parallelen Tagkreisen sich scheinbar um ihn herumdrehen. Die südliche Halbkugel des Himmels bleibt seinen Blicken beständig verborgen.

Nicht besser ist es am Südpol der Erde. Hier gestalten sich alle Erscheinungen denen des Nordpols durchaus ähnlich, nur sind die Tages- und Jahreszeiten stets die entgegengesetzten. Der Sommer und Tag beginnt mit dem 23. September, der Winter und die Nacht am 21. März. Außerdem sind nur die Sterne der südlichen Halbkugel des Himmels sichtbar; Menschen aber werden sie hier wohl nicht leuchten!

Nach dieser kurzen Beschreibung der Erscheinungen wird hoffentlich jeder Leser im stande sein, sich den Verlauf derselben für irgend eine Breite zu construiren.

Der Uebersichtlichkeit wegen fassen wir die wichtigsten Resultate der bisherigen Betrachtungen noch einmal kurz zusammen.

G. Zusammenfassung.

1) Die Lage der Parallelkreise des Himmels zum Horizonte kann für die ganze Erde eine dreifache sein: sie stehen entweder senkrecht, oder schief auf dem Horizonte, oder sie laufen mit demselben parallel. Man pflegt darum drei Sphären zu unterscheiden, nämlich:

die senkrechte Sphäre (*sphaera recta*) auf dem Aequator,
die schiefe Sphäre (*sphaera obliqua*) an allen Punkten zwischen dem Aequator und den Polen,
die parallele Sphäre (*sphaera parallela*) auf den beiden Polen.

2) Auf dem Aequator, in der senkrechten Sphäre, sind Tag und Nacht beständig gleich lang; es giebt keinen längsten und keinen kürzesten Tag.

3) In der schiefen Sphäre findet eine Veränderung in den Tageslängen statt, die um so größer ist, je größer die geographische Breite ist. Auf den Wendekreisen beträgt der Unterschied des längsten und des kürzesten Tages ungefähr 3 Stdn., in Berlin, in $52^1/_2{}^0$ nördl. Breite, etwa 9 Stdn., an den Polarkreisen volle 24 Stdn.

4) Innerhalb der Polarkreise geht die Sonne im Sommer dieser Gegenden Tage, Wochen, Monate lang nicht auf und im Winter nicht unter. Der ununterbrochene Tag wächst von den Polarkreisen bis zu den Polen von 1 Tag bis zu 6 Monaten, und dasselbe gilt von der Nacht.

5) In der parallelen Sphäre, an den Polen, ist der Tag gleich 6 Monaten, und dieselbe Länge hat die Nacht; es sind also hier, wie am Aequator, Tag und Nacht eigentlich einander gleich. Außerdem fallen die Tageszeiten mit den Jahreszeiten zusammen.

6) Auf dem Aequator scheint die Sonne zweimal im Jahre zu Mittag

senkrecht herab. Dasselbe gilt von allen Oertern, die zwischen den beiden Wendekreisen liegen. Während indessen die Zeiten des senkrechten Sonnenstandes am Aequator 6 Monate auseinander liegen, rücken dieselben nach den Wendekreisen zu mehr und mehr zusammen.

7) Die Wendekreise werden jährlich nur einmal senkrecht von der Sonne beschienen, der nördliche Wendekreis am 21. Juni, der südliche am 21. Decbr.

8) Zur Zeit des senkrechten Sonnenstandes sind alle Bewohner der Erde zwischen den Wendekreisen unschattig; es ist dies also nicht eine ausschließliche Eigenschaft der Aequatorbewohner. Weil zu andern Zeiten des Jahres die Schatten senkrecht stehender Gegenstände zu Mittag abwechselnd nach S. und nach N. fallen, so werden die Bewohner der in Rede stehenden Gegenden auch wohl zweischattig genannt.

9) Die Schatten aller Bewohner der Erde zwischen den Wende- und Polarkreisen fallen zu Mittag stets nach derselben Gegend, auf der nördlichen Halbkugel nach N., auf der südlichen nach S.; sie werden deshalb nach diesem Umstande wohl einschattig genannt.

10) Alle Bewohner der Erde zwischen den Polarkreisen und den Polen sehen zur Zeit der langwährenden Tage ihren Schatten in 24 Stdn. um sich herumwandern; sie heißen deshalb wohl umschattig. Beständig umschattig sind indessen nur die Polbewohner, falls es deren giebt.

11) Morgen- und Abendweite der Sonne sind am kleinsten am Aequator; wegen der senkrechten Lage der Parallelkreise zum Horizont sind sie stets gleich der Declination der Sonne, also höchstens $23^1/_2{}^0$, und dies am 21. Juni und am 21. December.

12) Vom Aequator nach den Polen zu werden Morgen- und Abendweite der Sonne wegen der schiefen Lage der Tagkreise zum Horizonte größer als ihre Declination; an den Polarkreisen sind sie bis zu 90^0 angewachsen. Innerhalb der Polarkreise kann man zur Zeit der langen Tage nicht von Morgen- und Abendweite der Sonne reden.

13) Die Dämmerung ist am kürzesten in der senkrechten Sphäre, am Aequator, wo die astronomische nur 1 Std. 24 Min. beträgt. Vom Aequator an nimmt sie mit der geographischen Breite wegen der immer schiefer werdenden Lage der Tagkreise zum Horizonte beständig zu, bis sie an den Polen am Morgen und am Abend eine etwa 50tägige Dauer hat.

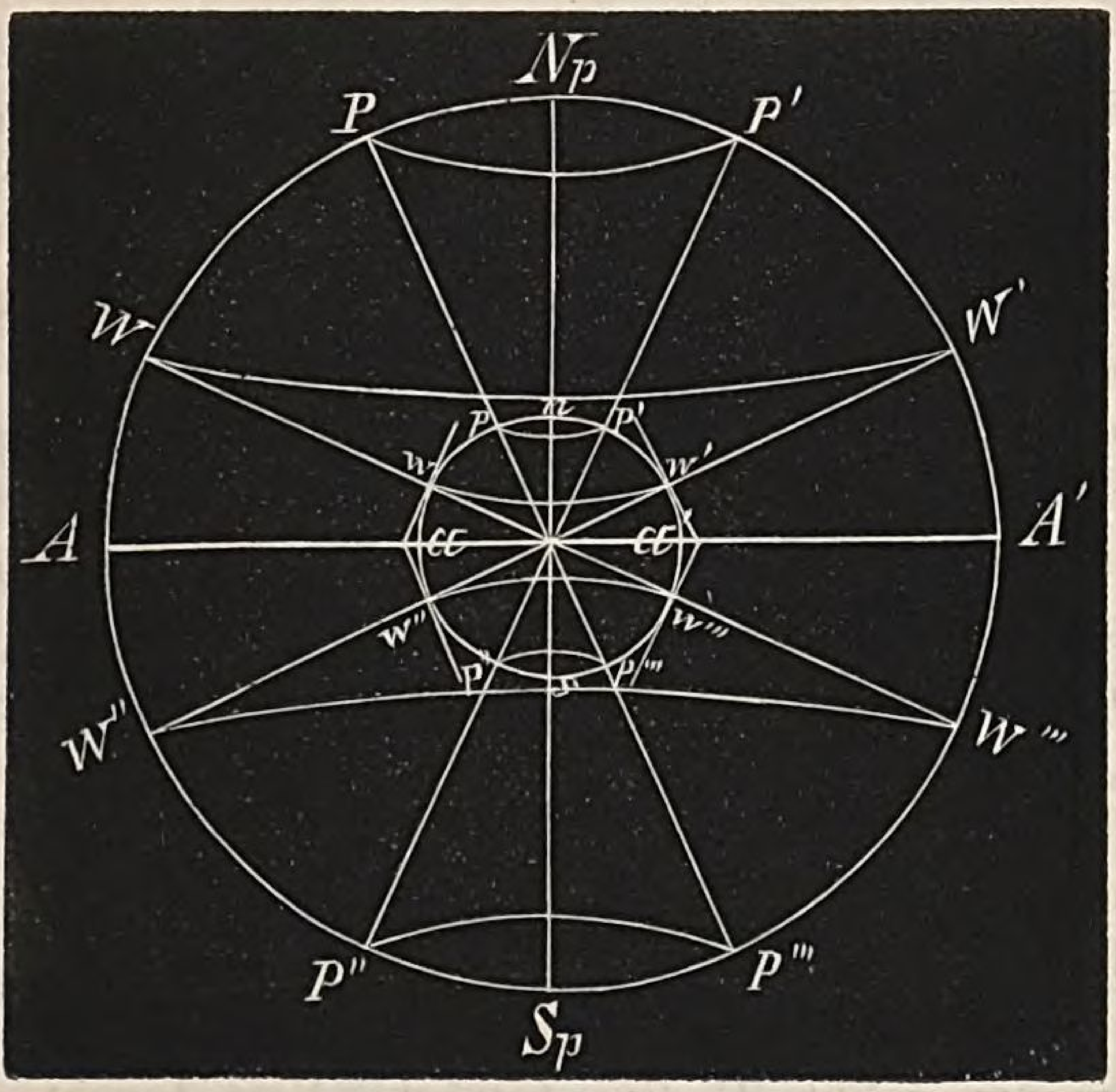
14) Der Anblick des gestirnten Himmels ist in jeder Beziehung am herrlichsten in der senkrechten Sphäre, am Aequator. Kein Stern bleibt beständig unter dem Horizonte, und kein Stern ist Circumpolarstern. Mit zunehmender Breite vermindert sich der sichtbare Theil des Fixsternhimmels im Verhältnis der geographischen Breite. Es bleibt ein Theil der nördlichen oder der südlichen Halbkugel ungesehen, dessen Breite, vom entsprechenden Pol gemessen, der geographischen Breite des Beobachtungsortes gleich ist. Für diesen unsichtbaren Theil sucht die mit zunehmender Breite sich mehrende Zahl der Circumpolarsterne durch beständiges Verharren über dem Horizonte

gleichsam zu entschädigen. An den Polen beschränkt sich die Sichtbarkeit der Sterne auf eine Halbkugel, und alle Fixsterne sind Circumpolarsterne.

IV. Gegenfüßler, Gegenwohner, Nebenwohner.

Nachdem wir uns die Erscheinungen an Sonne, Mond und Sternen für die verschiedensten Gegenden der Erde vorgeführt haben, kann es keine Schwierigkeit mehr darbieten, Rechenschaft darüber zu geben, wie sich jene Erscheinungen für Bewohner der Erde gestalten müssen, die man wegen ihrer gegenseitigen Lage auf der Erdoberfläche mit den Namen: Gegenfüßler, Gegenwohner und Nebenwohner belegt hat.

Fig. 47.



1. Gegenfüßler. Mit dem Namen Gegenfüßler oder Antipoden pflegt man die Bewohner solcher Oerter der Erde zu benennen, die an den einander entgegengesetzten Endpunkten eines Erddurchmessers liegen, wie in nebenstehender *Fig. 47*, in der wieder die Erd- und Himmelskugel mit ihren wichtigsten Kreisen in bekannter Weise dargestellt sind, die Oerter *n* und *s*, *w* und *w'''*, *a* und *a'* u. s. w. Gegenfüßler wohnen also auf entgegengesetztem Meridian und auf entgegengesetztem Parallelkreise, daher auch auf entgegengesetzten Halbkugeln; der eine wohnt auf der nördlichen, wenn der andere auf der südlichen, der eine auf der östlichen, wenn der andere auf der westlichen Halbkugel sich befindet. Deshalb haben sie also entgegengesetzte Breite und entgegengesetzte Länge. — Hieraus ergeben sich leicht die für Gegenfüßler stattfindenden Erscheinungen.

Wählen wir zur Verdeutlichung die beiden in den Wendekreisen liegenden Oerter *w'* und *w''*, so ist klar: ihr scheinbarer Horizont (die Tangenten an *w'* und *w''*) sind einander parallel, ihre wahren Horizonte aber, *PP'''* resp. *P'''P*, fallen zusammen. Darum haben sie gleiche, aber entgegengesetzte Polhöhe, *P Np* resp. *P'''Sp*, und gleiche, aber nach entgegengesetzter Himmelsgegend liegende Aequatorhöhe, *P'''A'*, resp. *PA*. Das Zenith des einen, *W'*, ist das Nadir des andern. Da die wahren Horizonte zusammenfallen, so liegt für *w'*

der Theil des Himmels unter dem Horizonte, welcher für w'' in demselben Momente über dem Horizonte sich befindet, und umgekehrt. Sterne, die für den einen Ort eben aufgehen, gehen für den andern eben unter. Hat der eine Morgen, so hat der andre Abend, und umgekehrt. Sterne, die für den einen Ort in der oberen Culmination stehen, stehen für den andern in der unteren Culmination. Hat der eine Mittag, so hat der andre Mitternacht; ihre Zeitdifferenz beträgt 12 Stdn. Gegenfüßler haben also entgegengesetzte Tageszeit.

Wegen der entgegengesetzten geographischen Breite haben sie aber auch entgegengesetzte Jahreszeiten. Die Zeit des höchsten Sonnenstandes für den einen ist die Zeit des niedrigsten Sonnenstandes für den andern; wird z. B. am 21. Juni von der Sonne der nördliche Wendekreis WW' durchlaufen, so hat der Ort w' zu Mittag eine Sonnenhöhe von $P'''W' = 90^0$, der Ort w'' nach 12 Stdn. eine Mittagshöhe $PW = 43^0$ u. s. w.

Wie gestalten sich aber die Verhältnisse für zwei Gegenfüßler auf dem Aequator, und wie für die beiden Pole? Gilt das oben Gesagte auch in allen Stücken für sie? Haben Gegenfüßler auf dem Aequator entgegengesetzte Breite und entgegengesetzte Jahreszeit? die Polbewohner entgegengesetzte Länge? etc. etc. Die Antwort auf diese Fragen wird nach dem Bisherigen bei einigem Nachdenken leicht gefunden werden.

2. **Gegenwohner** nennt man die Bewohner solcher Oerter, die, wie in w und w'', p und p'', p' und p''' etc., auf demselben Meridian, aber auf entgegengesetztem Parallelkreise liegen. Sie haben also dieselbe Länge und gleiche, aber entgegengesetzte Breite; der eine liegt auf der nördlichen, der andre auf der südlichen Halbkugel, beide aber entweder auf der östlichen, oder auf der westlichen Halbkugel.

Die Horizonte je zwei solcher Oerter sind gegen einander um einen Winkel geneigt, der gleich der Summe der Breiten beider oder gleich ihrer Entfernung von einander im Meridian ist. So bilden die wahren Horizonte der Oerter w und w'', nämlich $P'P''$ resp. $P'''P$, einen Winkel von 47^0, da jene Oerter, in den Wendekreisen gelegen, 47^0 von einander entfernt sind. Gegenwohner, w und w'', haben daher auch gleiche, aber entgegengesetzte Polhöhe, $P'Np$ resp. $P'''Sp$, und gleiche, aber nach [illegible]engesetzten Himmelsgegenden liegende [illegible]

haben sie in demselben Augenblick
aber wegen der entgegengesetzten
n.

Pole Abweichungen vom Gesagten?
lche Bewohner der Erde, die auf
gesetztem Meridian, mithin 180^0 von
dpunkten des Durchmessers eines
ler, der Erde.

w''', p und p' etc. die Lage der

Nebenwohner. Für die Punkte *w* und *w'* sind *P'P''* resp. *PP'''* die wahren Horizonte; sie haben also dieselbe Pol- und Aequatorhöhe, und weil sie auf demselben Parallelkreise liegen, dieselbe Jahreszeit, aber wegen entgegengesetzter geographischen Länge entgegengesetzte Tageszeit; der eine Tag, wenn der andre Nacht, der eine Mittag, wenn der andre Mitternacht hat. Ob dem einen aber die Sonne aufgeht, wenn sie dem andern untergeht, ist eine andere Frage.

Hiermit haben wir nachzuweisen versucht, wie und in wie weit die in den verschiedenen Gegenden der Erde wahrzunehmenden scheinbaren Bewegungen an Sonne, Mond und Sternen durch die tägliche Rotation der Erde ihre naturgemäße Erklärung finden. Wer sich die Sache noch mehr veranschaulichen will, kann sich dazu mit Nutzen eines Himmelsglobus, und in Ermangelung desselben auch eines mit Meridian und Horizont versehenen Erdglobus bedienen. Man wird die Lage der Himmelskugel in den verschiedenen Sphären und den dadurch bewirkten Verlauf der Erscheinungen leicht darstellen können, wenn man den Globus der Polhöhe des betreffenden Ortes gemäß einstellt, für die Sonne die entsprechenden Punkte der Ekliptik sucht, und dann die Kugel von O. nach W. in Rotation versetzt. Noch naturgemäßer dürften sich alle Erscheinungen an meiner schon erwähnten Armillarsphäre veranschaulichen lassen, da einmal die Bewegung der die Himmelskugel in ihren wichtigsten Kreisen darstellenden Ringkugel um einen innerhalb derselben befindlichen Horizont, und nicht in Beziehung auf einen dieselbe äußerlich umgebenden geschieht, außerdem aber auch jener Horizont für alle Breiten gestellt, und mit der inmitten der Ringkugel stehenden Erde in Rotation versetzt werden kann, was bei den gewöhnlichen derartigen Instrumenten nicht möglich ist.

Fünftes Kapitel.

Die Erde hat eine fortschreitende Bewegung.

I. Gründe für dieselbe.

In dem vorigen Kapitel haben wir gesehen, wie der tägliche Umschwung von Sonne, Mond und Sternen um die Erde, wie der Anschein es zeigt, durch die Rotation der kugelförmigen Erde ihre einfache und ungezwungene Erklärung findet. Unerklärt aber blieb durch die Rotation der Erde das tägliche Zurückbleiben der Sonne hinter den Fixsternen um 1° oder ihre jährliche Bewegung in der Ekliptik, und außerdem die tägliche Verspätung des Mondes um 50 Minuten. Bleiben wir zunächst bei der Sonne stehen. Ihr tägliches Vorschreiten in der Ekliptik um 1° von W. nach O. würde sich erklären lassen, wenn die Sonne wirklich in Jahresfrist in der gegen den Himmelsäquator um einen Winkel von 23½° geneigten Ekliptik sich um die ruhende Erde bewegte;

es würde aber auch der Fall sein, wenn sich die Sache umgekehrt verhielte und die Erde die ruhende Sonne in einem Jahre umkreiste. Hierfür sprechen:

1. **Das Massenverhältnis zwischen Sonne und Erde.** Mit ziemlicher Sicherheit kann man die Entfernung beider Himmelskörper sowie ihr Größenverhältnis bestimmen. Jener Abstand beträgt c. 20 mill. Mln., und die Sonne hat nach *Encke* 359551 mal so viel Masse als die Erde. Wo wir einen Körper in Bewegung sehen, müssen wir eine derselben entsprechende, sie bewirkende Kraft voraussetzen. Nun ist aber bekannt, daß in der Körperwelt die Kraft, welche ein Körper ausübt (hier die Anziehungskraft), zunächst durch die Masse bedingt ist. Bedenken wir nun das angegebene Massenverhältnis zwischen Sonne und Erde, so ist es weit wahrscheinlicher, daß die kleine Erde von der großen, mächtigen Sonne, als diese von jener abhängig ist, oder daß der kleinere Körper sich um den größeren bewegt.

2. **Die Bewegungen der Monde um ihren Hauptplaneten.** Seitdem im Anfange des 17. Jahrhunderts das Fernrohr erfunden worden, hat man häufig Gelegenheit gehabt, Erscheinungen an den Sternen zu beobachten, die bis dahin den unbewaffneten Augen verborgen bleiben mußten, und diese neuen Entdeckungen konnten nicht verfehlen, auf die Ansichten über die zwischen den Sternen bestehenden Verhältnisse umgestaltend zu wirken. Die erste Entdeckung durch das Fernrohr war die der Jupitermonde. Seit *Galilei* sie am 7. Januar 1610 geschaut und sich um den Hauptplaneten hatte schwingen sehen, konnte ihn nichts mehr in der Ueberzeugung, daß die Erde sich um die Sonne bewege, wankend machen. Ein noch schöneres Bild gewährt Saturn mit seinen 8 ihn umkreisenden Monden, und Aehnliches zeigen Uranus und Neptun. Bei allen diesen Planeten sieht man die kleineren Monde um den größeren Hauptplaneten sich bewegen. Diese Erfahrung läßt kaum noch an der Bewegung der Erde um die Sonne zweifeln.

3. **Die Aberration des Lichtes.** Auch die Fixsterne legen Zeugnis für die Bewegung der Erde um die Sonne ab. Wir werden nämlich später noch sehen, wie fast alle Fixsterne im Laufe eines Jahres kleine Ellipsen beschreiben, welche die Form der von der Erde um die Sonne beschriebenen Bahn im kleinen darstellen. Diese von *Bradley* gemachte Entdeckung wird die Aberration des Lichtes genannt; seitdem dieselbe bekannt ist, ist die Bewegung der Erde um die Sonne zur Gewißheit geworden.

In dem Folgenden werden wir nun sehen, wie die bisher unerklärbaren Erscheinungen sich einfach und ungezwungen deuten lassen.

II. Erklärung der Erscheinungen aus der Bewegung der Erde um die Sonne.

Die Sonne fesselt die Erde, wie alle Planeten, durch die wegen ihrer großen Masse außerordentliche Anziehungskraft an sich, obwohl sie von ihr nicht weniger als 20682440 geogr. Meilen entfernt ist. Dies ist in der That eine

Entfernung, von deren Größe wir uns keine unmittelbare Vorstellung mehr zu machen vermögen.

Es würde jene Entfernung der Erde von der Sonne zurücklegen:

ein Fußgänger,	der in 1 Sek.	4 Fuß	macht,	in 3745 Jahren		
ein Dampfwagen,	der in 1 »	40 »	»	» 393	»	
eine Kanonenkugel,	die in 1 »	600 »	»	» 25	»	
der Schall,	der in 1 »	1050 »	»	» 14¼	»	
der Lichtstrahl,	der in 1 »	42000 Mln.	»	» —	»	8. Min. 17 Sek.

1. Die scheinbare Bewegung der Sonne in der Ekliptik. Trotz dieser großen Entfernung der Erde von der Sonne wird erstere von dieser gezwungen, in Jahresfrist um sie als Centralkörper in einer fast 130 mill. Meilen langen Bahn zu kreisen, so daß sie in jeder Sekunde über 4 geogr. Mln. zurücklegen muß, sich also mit einer Geschwindigkeit bewegt, welche die eines Punktes des Aequators bei der Rotation um mehr als das 60fache übertrifft.

Diese Bahn wollen wir, da es hier zunächst darauf ankommt, den Verlauf der Bewegung der Erde in großen Umrissen aufzufassen, als einen Kreis annehmen, in dessen Mittelpunkt die Sonne sich befinde; zugleich wollen wir uns diese als stillstehend oder besser, als an derselben Stelle des Weltenraumes verbleibend, vorstellen.

Wie nun bei fortschreitender Erde die scheinbare Bewegung sich gestalten muß, wird leicht an einem nahe liegenden Beispiele klar werden.

Versetzen wir uns in Gedanken in eine Rotunde, von deren Decke etwa eine Lampe herabhängt, und denken wir uns diese Lampe im Kreise umwandelnd. Von einem gewissen Standpunkte aus werden wir die Lampe einen bestimmten Punkt der Wand verdecken sehen, und dieser Punkt, von einer durch die Lampe gehenden Gesichtslinie getroffen, ist der scheinbare Ort der Lampe für diesen Standpunkt. Verändern wir diesen letzteren, im Kreise fortgehend, so wird auch der scheinbare Ort der Lampe ein anderer, und zwar nach Maßgabe unserer eigenen Bewegung. Hätten wir einen Viertelkreis zurückgelegt, so würde auch der scheinbare Ort der Lampe einen Viertelkreis zurückgelegt zu haben scheinen, und nach einem ganzen Umgange um die Lampe würde auch diese nach allen Richtungen der Wand gesehen worden sein und an dieser scheinbar einen ganzen Kreis vollendet haben.

Denken wir an die Stelle der Lampe die ruhende Sonne, für die Wand der Rotunde den unbeweglichen Fixsternhimmel, und für den die Lampe Umgehenden einen die Sonne umkreisenden Erdenbewohner, so ist unschwer einzusehen, wie die scheinbare Bewegung der Sonne sich gestalten muß.

Von einem bestimmten Orte der Erde aus erscheint uns die Sonne an einer bestimmten Stelle des Himmels, bei bestimmten Fixsternen. Indem wir aber (auf der nördlichen Halbkugel) mit der Erde in ihrer Bahn, nach der Sonne blickend, von der Linken zur Rechten fortschreiten, nimmt unsere durch die Sonne gehende Gesichtslinie beständig andere Lagen im Raume an, und wir sehen darum den Sonnenort an den Fixsternen vorüber von der Rechten zur

Linken oder, auf den Horizont bezogen, von W. nach O. sich fortbewegen. Wenn nach einem Vierteljahr die Erde den vierten Theil ihrer Bahn durchlaufen hat, so hat auch scheinbar die Sonne ihren Ort zu den Fixsternen um den vierten Theil eines Kreises oder um 90° verändert, und wenn nach Jahresfrist die Erde einen ganzen Umschwung um die Sonne vollendet hat, so ist auch die Sonne, nachdem sie scheinbar einen ganzen Kreis durchlaufen, zu denselben Fixsternen zurückgekehrt. Ein Jahr ist um!

Der Kreis am Himmel, welchen die Sonne, oder genauer der vom Mittelpunkt der Erde (geocentrisch) gesehene Mittelpunkt der Sonne, im Laufe eines Jahres zu durchlaufen scheint, ist kein anderer als die Ekliptik, über deren Lage und Eintheilung wir bereits das Nöthige kennen gelernt haben. Die Bewegung der Sonne in der Ekliptik ist also nur eine scheinbare, durch die Bewegung der Erde um die Sonne erzeugte.

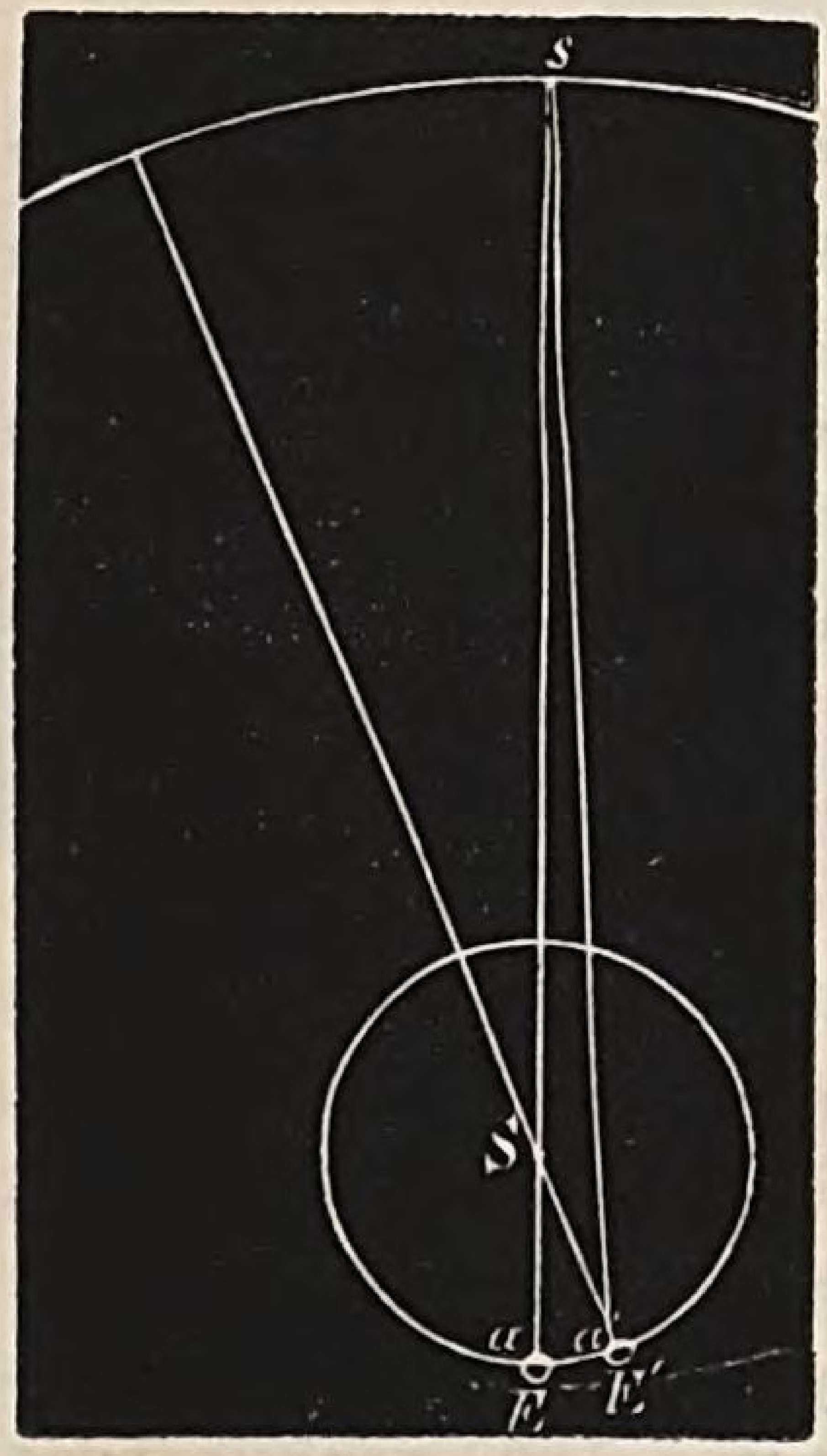
Könnten wir uns auf die Sonne versetzen, so würden wir die Erde einmal als einen Stern unter den Sternen, zugleich aber auch an den Fixsternen vorüber sich in der Ekliptik in der Reihenfolge der Zeichen bewegen sehen, und diese Bewegung wäre keine scheinbare, sondern eine wirkliche Bewegung. Nach Verlauf eines Jahres würde die Erde, nachdem sie, oder genauer ihr vom Sonnenmittelpunkte (heliocentrisch) gesehener Mittelpunkt, einen ganzen Kreis beschrieben, wieder zu denselben Fixsternen zurückgekehrt sein. Dieser Kreis wäre wiederum kein anderer als die bekannte Ekliptik, so daß also die Sonne geocentrisch und die Erde heliocentrisch dieselbe Bahn durchlaufen. Der geocentrische Sonnenort liegt dem heliocentrischen Erdorte stets diametral gegenüber; beide sind daher in Länge oder Rectascension 180° von einander entfernt.

Es wird nicht überflüssig sein, daran zu erinnern, daß die Ekliptik nicht die wirkliche Erdbahn ist. Die Erdbahn ist frei im Raume zu denken, wie die Erde selbst, und man würde sie, wenn etwa die Erde, einer Rakete gleich, eine feurige Spur zurückließe, von einem außerhalb oder vielmehr über der Erdbahn befindlichen Standpunkte, je nach der Entfernung von ihr, als einen größeren oder kleineren Kreis erblicken. Da wir auf der Erde (eigentlich nur der Mittelpunkt derselben) uns stets in der Ebene dieses Kreises befinden, so übertragen (projiciren) wir dieselbe, und zwar als einen größten Kreis, auf den Himmel. Die Ekliptik ist also die auf den Himmel projicirte Erdbahn.

2. **Der Unterschied zwischen Stern- und Sonnenzeit.** Die Erde durchläuft die 360° ihrer Bahn in ungefähr 365 Tagen; darum schreitet sie in derselben täglich etwa $^{360}/_{365}{}^{0}$, d. h. etwa 1° fort. Um 1° muß daher auch die Sonne täglich ihre Stellung zu den Fixsternen ändern, was wir bereits als wirklich geschehend kennen gelernt haben, und zwar muß sie, weil die Richtung der fortschreitenden Bewegung auch die ihrer Rotation ist, in Beziehung auf den Horizont täglich 1° von W. nach O. sich zu bewegen scheinen. Unmöglich kann daher die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Cul-

minationen eines Fixsternes und zwischen denen der Sonne von gleicher Länge sein oder, was dasselbe ist, der Sterntag kann nicht gleich dem wahren Sonnentage sein. Dies wäre nur der Fall, wenn Erde und Sonne sich nicht bewegten, und demnach die letztere ihre Stellung zu den Fixsternen nicht änderte. Vielmehr ist der Sonnentag um die Zeit länger als der Sterntag, welche die Erde nöthig hat, um bei ihrer Rotation den Ort jedes Punktes ihrer Oberfläche um 1° zu verschieben, und dies geschieht bekanntlich in 4 Min. Sternzeit; um diese 4 Min. ist also der Sonnentag länger als der Sterntag.

Fig. 48.



Das Gesagte möge *Fig. 48* veranschaulichen. Es sei *S* die Sonne, *E* die Erde und *s* ein Fixstern. In der Stellung bei *E* culminiren für den Erdort *a* Sonne und Stern in demselben Moment; denn beide stehen in der Richtung der geraden Linie *E S s*. Wenn die Erde während eines Tages bis *E'* in ihrer Bahn fortgerückt ist, so mißt der Winkel *s E' S* die scheinbare Entfernung des Sternes von der Sonne. Wenn nun für den Erdort *a*, der nach einer Rotation der Erde etwa die Stellung *a'* eingenommen hat, der Stern *s* bereits wieder culminirt, so ist dies doch nicht mit der Sonne der Fall. Die Culmination dieser erfolgt um so viel Zeit später als die des Sternes, als für *a'* nöthig ist, bei der Rotation der Erde den Winkel *s E' S* zu durchlaufen. In der Dauer eines wahren Sonnentages muß also die Erde mehr als eine ganze Rotation vollenden; die Dauer des Sterntages ist die Rotation der Erde.

3. **Die Entstehung der Jahreszeiten.** Um hierfür das rechte Verständnis herbeizuführen, ist es nöthig, noch Einiges vorauszuschicken.

Sonne und Erde sind so zu denken, daß ihre Mittelpunkte in der Ebene der Erdbahn liegen, diese Ebene also beide Körper halbirt.

Die Sonne sendet ferner nach allen Seiten hin ihre Strahlen aus, die als vom Mittelpunkt ausgehend und nach allen Seiten hin divergirend zu denken sind. Derjenige Theil ihrer Strahlen, welcher die Erde trifft, kann aber wegen der großen Entfernung der Erde von der Sonne und der dagegen unbedeutenden Größe der Erde als diese in paralleler Richtung treffend angesehen werden. Es wird darum die der Sonne zugewandte Hälfte der Erde erleuchtet, während die abgewandte Hälfte dunkel ist. — Den Licht und Schatten trennenden größten Kreis haben wir bereits als die Licht- oder Beleuchtungsgrenze kennen gelernt.

Von allen Punkten der Erdoberfläche wird in jedem Momente nur einer von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffen, und dieser Punkt ist gleichsam der Pol der erleuchteten Hälfte der Erde. Er wird stets von der den Sonnen- und Erdmittelpunkt verbindenden geraden Linie, welche wir die Centrale nennen

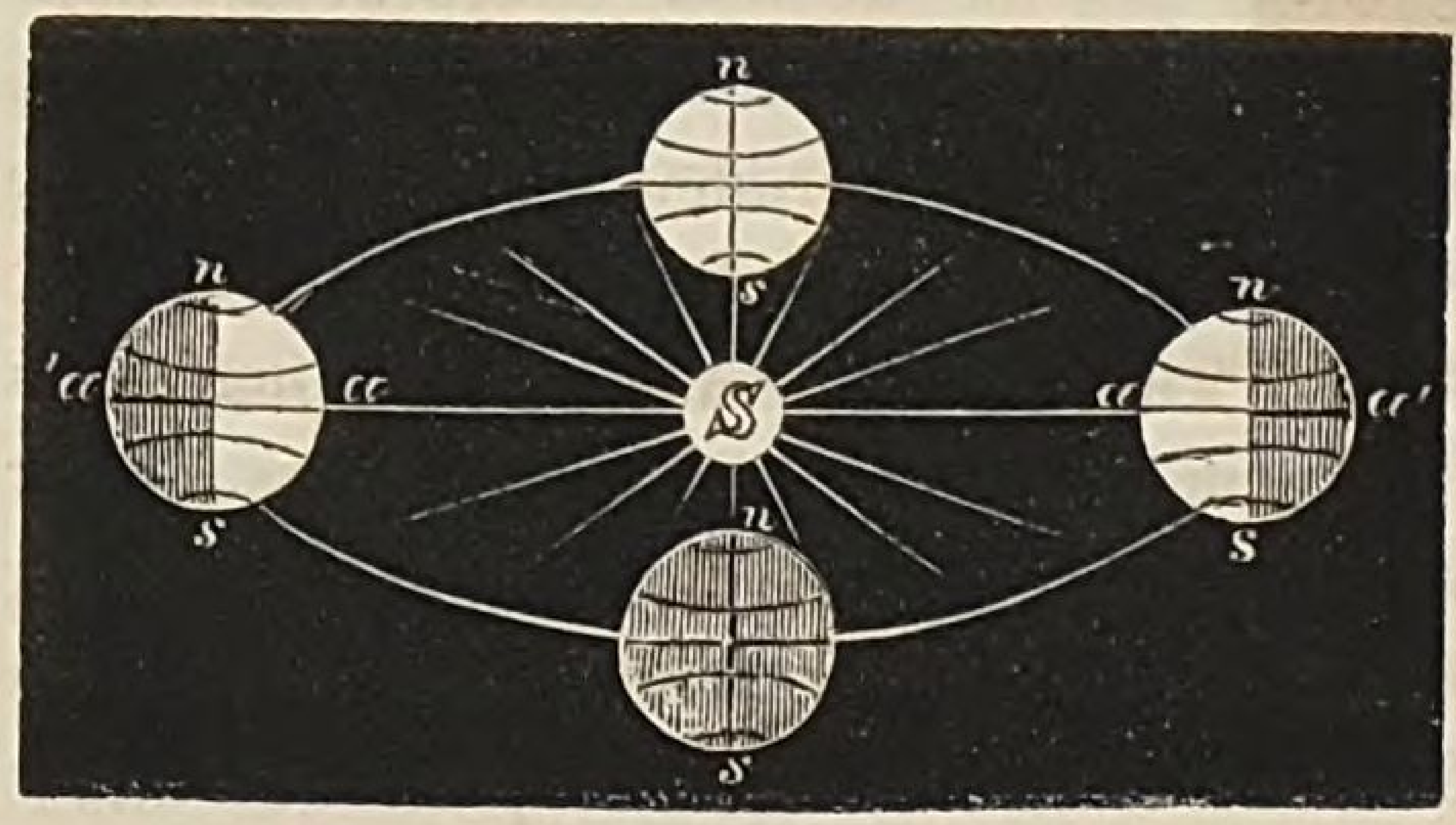
wollen, getroffen. Von diesem Punkte aus nimmt der Winkel, unter dem die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche treffen, von 90⁰ bis zu 0⁰ ab. — Die Beleuchtungsgrenze ist von dem senkrecht beschienenen Punkte überall 90⁰ entfernt; wegen der Rotation der Erde ist aber dieser Punkt fortwährend ein anderer, sowie beständig andre Punkte die Beleuchtungsgrenze passiren.

A. Annahme einer senkrechten Achsenstellung der Erde und Folgen derselben.

Die wirklich bestehenden Verhältnisse werden besser zum Verständnis kommen, wenn wir die Erdachse zuvor in verschiedenen Lagen zur Erdbahn uns vorstellen und uns die dadurch bedingten Folgen vergegenwärtigen.

Nehmen wir darum zunächst an, die Erdachse stehe senkrecht auf der Ebene ihrer Bahn.

Fig. 49.



Offenbar fiele nun, wie aus der nebenstehenden *Fig. 49* erkannt werden kann, die Ebene des Erdäquators mit der der Bahn zusammen. Da aber die Lage des Erdäquators die Lage des Himmelsäquators bestimmt, so müßte auch dieser letztere mit der auf den Himmel projicirten Erdbahn, d. h. mit der Ekliptik zusammenfallen; es gäbe also keine Schiefe der Ekliptik.

Ferner würde die Erde und Sonne verbindende Centrale beständig einen Punkt des Erdäquators treffen, und darum jeder Aequatorbewohner die Sonne täglich an seinem Mittage im Zenithe haben, so daß er das ganze Jahr hindurch zu Mittag unschattig wäre.

Die Lichtgrenze würde beständig durch die Pole gehen, und darum alle Parallelkreise der Erde halbiren. Es müßte deshalb wegen der gleichmäßigen Rotation der Erde jeder Ort 12 Stdn. in der Licht- und ebenso lange in der Schattenseite verweilen oder Tag und Nacht beständig einander gleich sein. Während die Aequatorbewohner die Sonne täglich in ihrem Zenithe sähen, müßten die Polbewohner sie beständig im Horizonte und sie diesen umkreisen sehen.

Von einem Wechsel der Jahreszeiten könnte bei so bewandten Umständen nicht die Rede sein: es wäre beständiger Frühling oder Herbst, und die Temperatur wäre durch das ganze Jahr hindurch für die einzelnen Oerter ziemlich gleichmäßig.

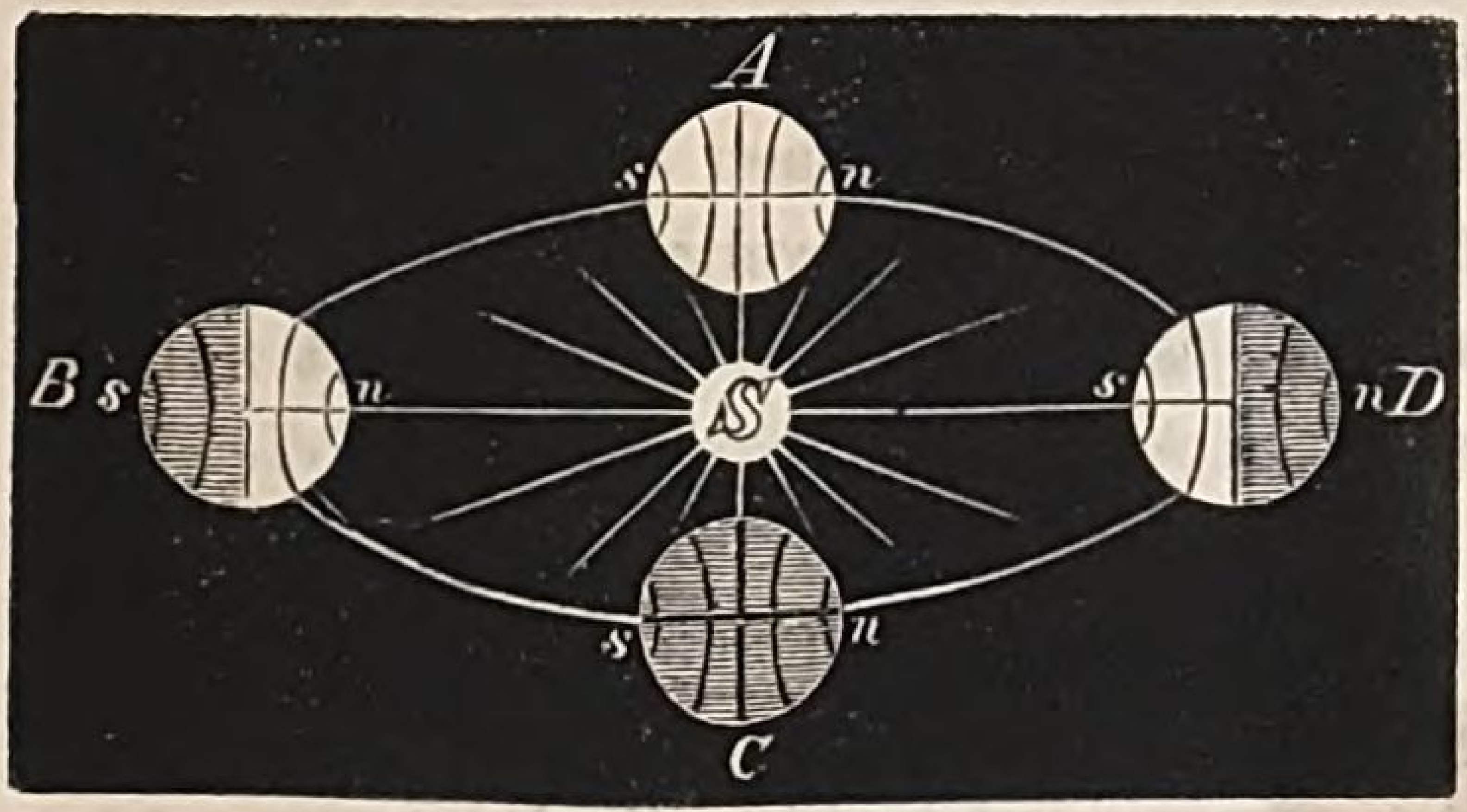
Diese aus der senkrechten Achsenstellung der Erde sich nothwendig ergebenden Folgen stimmen durchaus nicht mit dem, was wir bisher über den Lauf der Sonne gelernt haben; es kann daher die Erdachse nicht senk-

recht auf der Ebene der Bahn stehen; denn ein Satz, der falsche Folgen hat, ist falsch.

B. Angenommen, die Erdachse fiele in die Ebene der Erdbahn.

Ganz andere Folgen würden sich ergeben, wenn die Erdachse mit der Ebene der Erdbahn zusammenfiele, welche Lage die *Fig. 50* veranschaulichen soll. Die Erdachse muß dabei stets als dieselbe Richtuug im Raume beibehaltend oder sich selbst parallel fortschreitend gedacht werden.

Fig. 50.



Während der Erdäquator unter der vorigen Annahme mit der Ebene der Bahn zusammenfiel, stände er nun senkrecht auf derselben und schnitte sie nur in éiner geraden Linie. Darum müßte auch der Himmelsäquator mit der Ekliptik einen rechten Winkel machen; die Schiefe der Ekliptik wäre = 90°, und die Himmelspole lägen stets in dem letzteren Kreise.

Eigenthümliche Verhältnisse müßten sich nun hinsichtlich des Wechsels der Jahreszeiten ergeben. In *A* würde der Aequator senkrecht beschienen werden, und die Lichtgrenze ginge von Pol zu Pol. Die Aequatorbewohner hätten die Sonne zu Mittag in ihrem Zenith und wären unschattig, die Polbewohner (?) dagegen sähen sie den Horizont umkreisen und wären umschattig. Uebrigens wären auf der ganzen Erde Tag und Nacht gleich, wie bei uns im Frühlinge.

Indem aber die Erde von *A* bis *B* fortschritte, müßte die Lichtgrenze sich mehr und mehr von den Polen entfernen und sich dem Aequator nähern, bis sie in *B* selbst mit dem Aequator zusammenfiele. Bei dieser letzteren Lage der Erde zur Sonne würde der Nordpol senkrecht von den Sonnenstrahlen getroffen und der Aequator gestreift. Am Nordpol sähe man die Sonne im Zenithe, im Nordpol des Himmels. Man hätte sie auf dem Wege der Erde von *A* bis *B* vom Horizonte bis zum Zenithe sich hinaufschrauben und dabei ihre Tagkreise sich beständig verkleinern sehen, bis sie im Zenithe für einige Zeit scheinbar zum Stillstand gekommen. Alle senkrechten Gegenstände wären nun unschattig, und es herrschte tropische Hitze.

Ein Aequatorbewohner hingegen hätte auf dem Wege der Erde von *A* bis *B* bei stets gleich langen Tagen und Nächten die Mittagshöhe der Sonne von 90° bis zu 0° abnehmen sehen, bis ihm die Sonne in *B* scheinbar unbeweglich im Nordpunkte des Horizontes erschiene und nachtlose Tage brächte.

Den zwischen dem Nordpol und dem Aequator Wohnenden würde dabei

die Sonne einige Zeit hindurch nicht unter-, den Bewohnern der südlichen Halbkugel längere Zeit hindurch nicht aufgegangen sein.

Indem die Erde von *B* bis *C* fortrückte, würde die Sonne für den Nordpol bei nachtlosen Tagen sich wieder vom Zenithe bis zum Horizonte hinabsenken, mit jedem Tage einen größeren Tagkreis beschreibend. Für den Aequator aber würde sie bei stets 12stündigen Tagen vom Horizonte wieder bis zum Zenithe hinaufsteigen. Es wären alle Bewohner der nördlichen Halbkugel auf dem Wege der Erde von *A* bis *C* bei tropischer Hitze zweimal unschattig gewesen. In *C* ginge die Lichtgrenze wieder durch die Pole, und Tag und Nacht wären wieder auf der ganzen Erde einander gleich, wie bei uns im Beginne des Herbstes.

Auf dem Wege der Erde von *C* bis *D* würden für die südliche Halbkugel dieselben Verhältnisse eintreten, wie für die nördliche von *A* bis *B*. In *D* fiele die Lichtgrenze, wie in *B*, mit dem Aequator zusammen, und die ganze südliche Halbkugel würde beschienen. Für den Südpol hätte sich von *C* bis *D* die Sonne vom Horizonte bis zum Zenithe erhoben, für den Aequator wieder vom Zenithe bis zum Horizonte hinabgeschraubt; während sie aber für den Aequator in *B* unbeweglich im Nordpunkte des Horizontes erschien, würde sie in *D* im Südpunkte gesehen werden. Es hätte ferner in *D* die südliche Halbkugel bei großer Wärme nachtlose Tage, die nördliche bei großer Kälte beständige Nacht.

Beim Zurückkehren der Erde von *D* nach *A* kehrte allmählich die Lichtgrenze vom Aequator zu den Polen zurück, und in *A* müßten sich die angedeuteten Verhältnisse erneuern.

Bei der in Rede stehenden Lage der Erdachse zur Bahn würde für alle Punkte der Erdoberfläche eine Gleichartigkeit der Beleuchtung herbeigeführt werden; denn alle würden im Jahr zweimal senkrecht von der Sonne beschienen, und alle Bewohner der Erde wären zweimal unschattig, zugleich aber auch längere Zeit hindurch umschattig. Alle würden ferner abwechselnd tropischer Hitze und polarer Kälte theilhaftig. Hierdurch aber würde ein Wechsel der Temperatur erzeugt werden, der für das Bestehen der jetzt die Erde belebenden organischen Wesen gewiß nicht zuträglich wäre. Wir können uns also nur freuen, daß eine solche Gleichartigkeit in der Beleuchtung der Erde nicht besteht, wie sich aus der oben angenommenen Achsenlage ergeben würde. Es kann die Erdachse also auch nicht in die Ebene der Bahn fallen, indem die dadurch bedingten Verhältnisse in Wirklichkeit nicht vorhanden sind.

Da die Erdachse aber weder auf der Bahnebene senkrecht stehen, noch mit derselben zusammenfallen kann, so muß sie schief auf derselben stehen, und nach dem früher über den scheinbaren Sonnenlauf Mitgetheilten ist es nicht schwer zu sagen, wie schief? Die Schiefe der Ekliptik beträgt bekanntlich $23^1/_2{}^0$; darum muß auch der Erdäquator, als die Lage des Himmelsäquators bestimmend, $23^1/_2{}^0$ von der Ebene der Erdbahn abweichen, und dies ist nur dann der Fall, wenn die Erdachse nicht senkrecht auf der Bahn steht,

sondern um einen Winkel von $23^1/_2{}^0$ von dieser Lage abweicht, also mit der Bahn einen Winkel von $90^0 - 23^1/_2{}^0 = 66^1/_2{}^0$ macht. Und in der That erklärt sich aus dieser Achsenlage der Wechsel der Jahreszeiten und die verschiedene Länge der Tage in den einzelnen derselben vollkommen, wie wir in dem Folgenden sehen wollen.

C. Wirkliche Lage der Achse zur Bahn.

Die Erdachse steht also nicht senkrecht auf der Ebene der Erdbahn, sondern macht mit derselben einen Neigungswinkel von $66^1/_2{}^0$. Dieser Satz ist der Schlüssel für das Verständnis des Wechsels der Jahreszeiten auf der Erde und der damit zusammenhängenden Verhältnisse; allein es muß ihm noch ein zweiter hinzugefügt werden: Indem die Erde sich um die Sonne bewegt, behält ihre Achse stets dieselbe Lage im Raume bei; sie bleibt stets nach derselben Gegend des Himmels gerichtet oder bleibt sich stets parallel.

Mit Berücksichtigung dieser beiden Sätze wollen wir den Wechsel der Jahreszeiten auf der Erde, und was damit zusammenhängt, an *Fig. 51* zu erläutern versuchen.

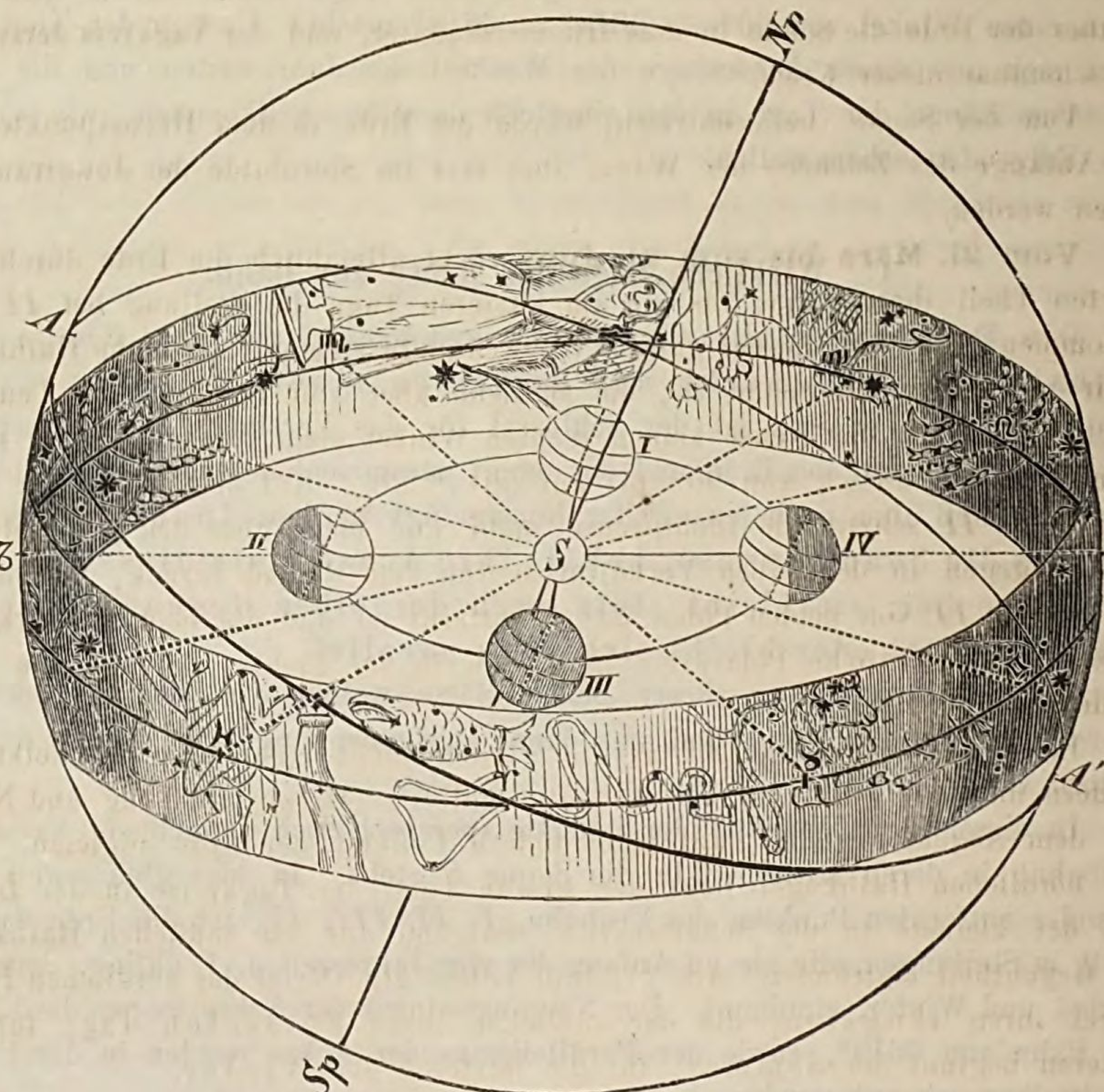
In dieser Figur bedeutet der innerste (perspectivisch gezeichnete) Kreis die Erdbahn, in deren Mittelpunkte die Sonne *S* steht. In vier gleich weit von einander entfernten Punkten der Erdbahn, *I*, *II*, *III*, *IV*, ist die Erde dargestellt in Stellungen, die sie zu Anfang der vier Jahreszeiten, Frühling, Sommer, Herbst und Winter, einnimmt. Der Neigungswinkel der Achse gegen die Ebene der Bahn von $66^1/_2{}^0$, sowie der Parallelismus der Achse werden in der Figur unmittelbar erkannt werden.

Umschlossen wird die Erdbahn von der Himmelskugel, bei der *Np Sp* die Achse, Kreis *AA'* den Aequator und der 20^0 breite Gürtel den Thierkreis oder Zodiakus bezeichnet. In der Mitte des Thierkreises ist der ihn halbirende Kreis die in ihre 12 Zeichen getheilte Ekliptik, die als Projection der Erdbahn auf den Himmel dargestellt ist. Der Winkel von $23^1/_2{}^0$, unter welchem sich die Ekliptik mit dem Aequator durchschneidet, ist unmittelbar aus der Figur ersichtlich. Von den Durchschnittspunkten beider Kreise ist der im Vordergrunde liegende ♈ der Frühlingspunkt, und der ihm gegenüberliegende ♎ der Herbstpunkt. Der zur Rechten $23^1/_2{}^0$ nördlich vom Aequator liegende Punkt der Ekliptik ♋ ist der Sommer-Solstitialpunkt, und der ihm gegenüberstehende, $23^1/_2{}^0$ südlich vom Aequator liegende Punkt ♑ der Winter-Solstitialpunkt.

In dem Thierkreise sind die den 12 Zeichen entsprechenden Sternbilder angedeutet worden und kann beider gegenseitiges Verhältnis aus der Figur unmittelbar ersehen werden.

Betrachten wir nun die Stellung der Erde **am 21. März** in *I*, so ist ersichtlich, daß sich weder die nördliche noch die südliche Halbkugel der Sonne zuneigt, sondern daß beide dieselbe Stellung zur Sonne haben; denn die Cen-

Fig. 51.



trale ist senkrecht zur Erdachse. Die Centrale fällt daher auch mit der Linie zusammen, in welcher die Ebene des Aequators die der Bahn schneidet, welche Linie, bis zum Himmel verlängert gedacht, die Aequinoctiallinie giebt.

Bei dieser Stellung der Erde zur Sonne geht die Lichtgrenze durch die beiden Pole und halbirt daher alle Parallelkreise, folglich auch die Tagkreise aller Oerter der Erde. Denken wir uns nun die Erde von W. nach O. rotiren, so muß jeder Ort ebenso lange in der Licht- als in der Schattenseite verweilen, d. h. Tag und Nacht sind auf der ganzen Erde einander gleich. Die Sonne trifft mit ihren Strahlen allein senkrecht den Aequator; sie streifen hingegen die Pole, so daß alle Aequatorbewohner die Sonne zu Mittag in ihrem Zenithe haben und unschattig sind, während sie an den Polen im Horizonte, diesen umkreisend, gesehen wird. Für alle zwischen dem Aequator und den Polen gelegenen Oerter geschieht die Beleuchtung so, daß alle schief, aber Oerter gleicher Breite unter gleichen Winkeln von den Sonnenstrahlen getroffen werden. Die nördliche Halbkugel hat Frühling, die südliche Herbst.

Der geocentrische Ort der Sonne am 21. März ist der Frühlingspunkt ♈ oder der Anfang des Zeichens des Widders, wie die Figur zeigt, im Anfange

des S t e r n b i l d e s der Fische. Am genannten Tage sehen darum alle Bewohner der Erde die Sonne in dem Himmelsäquator, und der Tagkreis derselben ist scheinbar dieser Kreis.

Von der Sonne (heliocentrisch) würde die Erde in dem Herbstpunkte ♎, im Anfange des Zeichens der Wage, aber erst im Sternbilde der Jungfrau gesehen werden.

Vom 21. März bis zum 21. Juni rückt allmählich die Erde durch den vierten Theil ihrer Bahn, bis sie am letzteren Tage die Stellung bei *II* eingenommen hat. Auf diesem ganzen Wege wandte sich die nördliche Halbkugel mehr und mehr der Sonne zu, die südliche aber von ihr ab. Die Centrale macht in *II* mit der Achse keinen rechten Winkel mehr, sondern dieser nahm allmählich um $23^1/_2{}^0$, von 90^0 bis auf $66^1/_2{}^0$ ab. Auf dem Wege der Erde von *I* bis *II* schritt die Lichtgrenze mehr und mehr über den Nordpol vor, wich dagegen in demselben Verhältnisse von dem Südpol zurück, bis sie am 21. Juni in *II* von beiden Polen $23^1/_2{}^0$ entfernt ist und die beiden Polarkreise streift. Der nördliche Polarkreis liegt ganz in der Licht-, der südliche ganz in der Schattenseite.

Bei dieser Lage der Lichtgrenze werden nicht mehr alle Parallelkreise, sondern nur, wie beständig, der Aequator halbirt. Darum sind Tag und Nacht auf dem Aequator gleich, auf allen andern Punkten der Erde ungleich. Auf der nördlichen Halbkugel liegt der größte Theil der Tagkreise in der Licht- und der kleinste in der Schattenseite, während auf der südlichen Halbkugel das Gegentheil stattfindet. Am 21. Juni haben alle Oerter der nördlichen Halbkugel ihren l ä n g s t e n, die der südlichen ihren k ü r z e s t e n Tag; für die ersteren beginnt der S o m m e r, für die letzteren der W i n t e r.

Was die Richtung der Sonnenstrahlen betrifft, so kann diese nicht mehr senkrecht für den Aequator sein; denn indem sich die nördliche Halbkugel der Sonne mehr und mehr zuwandte, mußten allmählich immer nördlicher liegende Punkte der Erde senkrecht getroffen werden.

Am 21. J u n i wird der nördliche Wendekreis senkrecht beschienen, wie in der Figur zu erkennen ist. Ließe der senkrechte Strahl eine Spur auf der Erde zurück, so würde er auf die unter ihm rotirende Erde den nördlichen Wendekreis in $23^1/_2{}^0$ Entfernung vom Aequator zeichnen. Alle Bewohner dieses Kreises sehen zu Mittag die Sonne in ihrem Zenithe und sind u n s c h a t t i g, während die Aequatorbewohner sie $23^1/_2{}^0$ nördlich vom Zenithe in $66^1/_2{}^0$ Höhe erblicken.

Die Bewohner des nördlichen Polarkreises bleiben ganze 24 Stdn. in der Lichtseite und berühren nur um Mitternacht die Schattenseite, in welchem Momente sie die Sonne im Nordpunkte des Horizontes stehen sehen. I h r l ä n g s t e r T a g i s t = 24 S t d n. Zu Mittag aber entfernen sie sich $2 \times 23^1/_2{}^0 = 47^0$ von der Lichtgrenze; sie sehen deshalb die Sonne in ihrer für sie größten Höhe von 47^0.

Der Nordpol der Erde lag vom 21. März bis zum 21. Juni beständig in

der Lichtseite. Es begann für ihn am 21. März der 6 Monate lange Tag, indem die Sonne seinen Horizont umkreisete; am 21. Juni aber ist sein Mittag, und er sieht die Sonne in $23^1/_2{}^0$ Höhe parallel mit seinem Horizonte scheinbar den nördlichen Wendekreis des Himmels beschreiben.

Auf der südlichen Halbkugel steht die Sonne für die Bewohner des südlichen Wendekreises zu Mittag 47^0 nördlich vom Zenithe in 43^0 Höhe, während die Bewohner des südlichen Polarkreises, indem sie an ihrem Mittage die Lichtgrenze streifen, die Sonne auf kurze Zeit im Horizonte erblicken, um nach ihrem Verschwinden die 24 Stdn. lange Nacht zu beginnen. Der Südpol endlich verharrte vom 21. März bis zum 21. Juni in der Schattenseite, und an letzterem Tage ist die erste Hälfte seiner 6 Monate langen Nacht vorüber.

Während die Erde von *I* bis *II* durch 90^0 ihrer Bahn schritt, mußte geocentrisch die Sonne ebenfalls 90^0 fortschreiten und nach einander die Zeichen: Widder, Stier und Zwillinge oder, wie in der Figur zu sehen ist, die Sternbilder: Fische, Widder, Stier und einen Theil der Zwillinge durchlaufen. Die Sonne mußte sich also scheinbar über den Aequator erheben; am 21. Juni aber muß sie im Sommer-Solstitialpunkte ♋, $23^1/_2{}^0$ nördlich vom Aequator, gesehen werden.

Der heliocentrische Ort der Erde vom 21. März bis zum 21. Juni muß in den entgegengesetzten Zeichen und Sternbildern gewesen sein; er würde die Zeichen: Wage, Skorpion, Schütze durchlaufen haben und am 21. Juni im Winter-Solstitialpunkte sich befinden.

Während der drei folgenden Monate vom **21. Juni bis zum 23. September** durchläuft die Erde wiederum ein Viertel ihrer Bahn und erreicht an dem letzteren Tage die Stellung bei *III*. Wenn in den vorigen 3 Monaten die nördliche Halbkugel sich mehr und mehr der Sonne zuwandte, so beginnt sie in diesen 3 Monaten sich wieder von ihr abzuwenden. Der Winkel der Centrale mit der Erdachse wächst wieder bis zu einem rechten an, und die Centrale fällt am 23. September, wie am 21. März, wieder mit der Durchschnittslinie der Ebene des Aequators mit der der Bahn zusammen. Die Lichtgrenze hat sich wieder den beiden Polen genähert, und am 23. September geht sie wieder durch dieselben, wobei sich die Verhältnisse wie am 21. März gestalten.

Vom 21. Juni bis zum 23. September nahmen auf der nördlichen Halbkugel die Tage ab, auf der südlichen aber zu, und am 23. September sind sie auf der ganzen Erde wieder gleich den Nächten. Für die nördliche Halbkugel beginnt an diesem Tage der Herbst, für die südliche der Frühling.

Der geocentrische Ort der Sonne schritt durch die Zeichen: Krebs, Löwe, Jungfrau und durch die Sternbilder: Zwillinge, Krebs, Löwe und einen Theil der Jungfrau; am 23. September aber tritt die Sonne in den Herbstpunkt ♎. Der heliocentrische Ort der Erde hat in den genannten 3 Monaten die Zeichen: Steinbock, Wassermann, Fische und die Sternbilder: Schütze, Steinbock, Wassermann, sowie einen Theil der Fische durchlaufen und ist am 23. September der Frühlingspunkt.

In den 6 Monaten vom 21. März bis zum 23. September hat die Sonne geocentrisch die 6 nördlichen, die Erde heliocentrisch die 6 südlichen Zeichen durchschritten.

Vom 23. September bis zum 21. December legt die Erde das dritte Viertel ihrer Bahn zurück und steht an dem letzteren Tage in der Stellung bei *IV*. Es wandte sich die nördliche Halbkugel immer noch mehr von der Sonne ab, die südliche mehr und mehr ihr zu, bis am 21. December die Verhältnisse die umgekehrten von denen am 21. Juni sind. Die Lichtgrenze schritt nach und nach $23^1/_2{}^0$ über den Südpol vor und wich vom Nordpol ebenso viel zurück. Für die südliche Halbkugel wurden die Tage länger, für die nördliche kürzer als die Nächte, und am 21. December hat jene ihre längsten, diese ihre kürzesten Tage.

Am 21. December streift die Lichtgrenze, wie am 21. Juni, die beiden Polarkreise; nur liegt jetzt der südliche Polarkreis ganz in der Lichtseite, der nördliche in der Schattenseite.

Die Sonne bescheint senkrecht den südlichen Wendekreis, steht also zu Mittag im Zenithe der Bewohner desselben und macht sie unschattig. Ein Aequatorbewohner sieht sie zu Mittag $23^1/_2{}^0$ südlich von seinem Zenithe; für den südlichen Polarkreis bringt sie den 24 Stdn. langen Tag, für den nördlichen Polarkreis die 24 Stdn. lange Nacht u. s. w.

Der geocentrische Ort der Sonne durchlief vom 23. September bis zum 21. December die Zeichen: Wage, Skorpion, Schütze und die Sternbilder: Jungfrau, Wage, Skorpion und einen Theil des Schützen; der heliocentrische Ort der Erde würde in derselben Zeit in den Zeichen: Widder, Stier und Zwillinge gewesen sein.

Vom 21. December bis zum 21. März bewegt sich die Erde wieder zu der anfangs beschriebenen Stellung in *I* zurück, wobei die Lichtgrenze sich allmählich wieder den beiden Polen nähert. Die Tage fangen dabei auf der nördlichen Halbkugel an zu-, auf der südlichen an abzunehmen, bis am 21. März auf der ganzen Erde wieder Tag und Nacht von gleicher Länge sind, und die Verhältnisse sich in der beschriebenen Weise erneuern: Ein Jahr ist um!

Der geocentrische Ort der Sonne bewegte sich vom 21. December bis zum 21. März durch die zweite Hälfte der südlichen Zeichen: Steinbock, Wassermann und Fische, der heliocentrische Ort der Erde durch die entgegengesetzten Zeichen: Krebs, Löwe, Jungfrau.

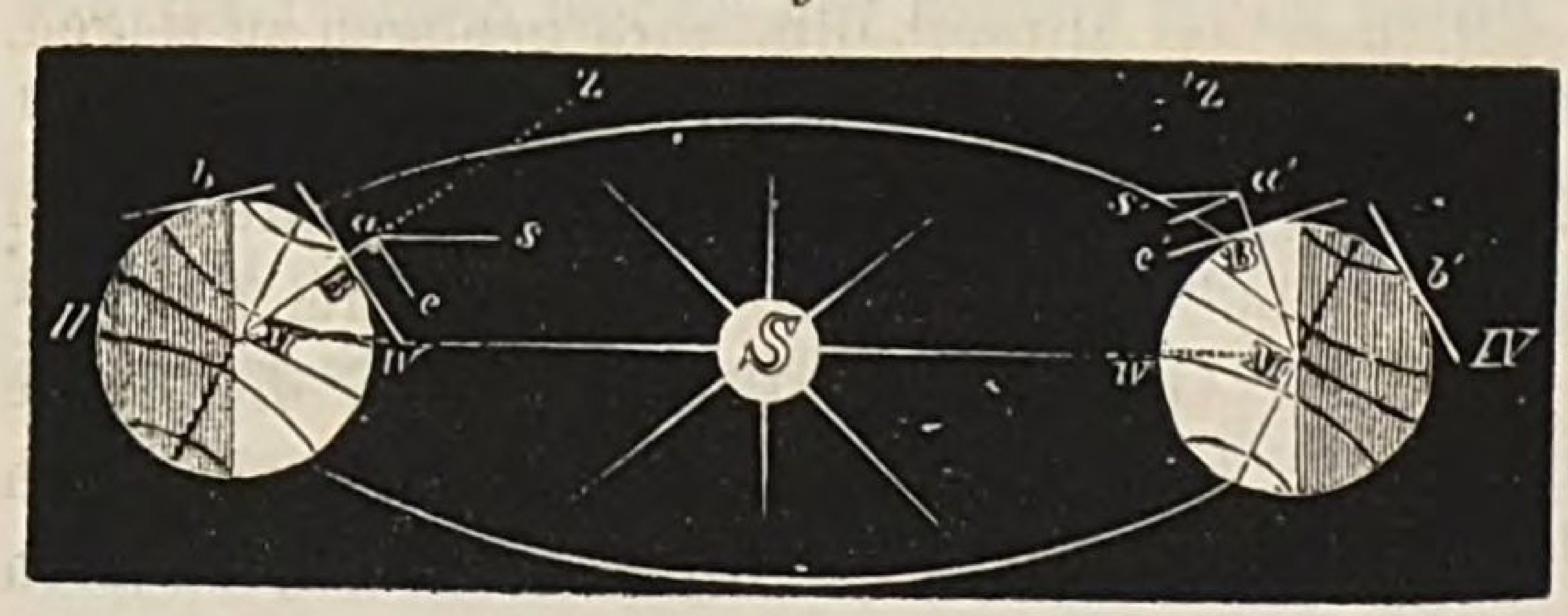
Während der 6 Monate vom 23. September bis zum 21. März hat die Sonne geocentrisch scheinbar die 6 südlichen, die Erde heliocentrisch die 6 nördlichen Zeichen durchwandert. Denkt man sich einen zum Erdmittelpunkte gerichteten Sonnenstrahl und diesen gleich einem Stifte die Punkte der Erdoberfläche aufzeichnend, welche er auf der Reise der Erde um die Sonne und bei der gleichzeitig erfolgenden Rotation der Erde während eines Jahres trifft, so würden dadurch zwei Spiralen auf die Erdoberfläche gezeichnet werden, die mit den während eines Jahres von der Sonne am Himmel scheinbar durchlaufenen

harmoniren. So findet die schraubenförmige Bewegung der Sonne in der gleichzeitig stattfindenden Rotation und Revolution ihre einfache Erklärung.

Alles, was wir aus der Bewegung der Erde um die Sonne hergeleitet, stimmt durchaus mit dem überein, was wir bei der Beschreibung des scheinbaren Sonnenlaufs als wirklich bestehend kennen gelernt haben, und darum kann an der Richtigkeit der Sache nicht mehr gezweifelt werden.

4. **Erläuterung der verschiedenen Mittagshöhen der Sonne in verschiedenen Jahreszeiten.** Bei der Bewegung der Erde um die Sonne, wie wir sie im Vorstehenden kurz erläutert haben, sieht man Sonne und Erde stets in derselben Ebene, in der der Erdbahn verharren, und doch scheint uns die Sonne vom 21. December bis zum 21. Juni sich zu erheben, vom 21. Juni bis zum 21. December sich zu senken. Der Schlüssel zum Verständnis dieses Umstandes liegt ebenfalls in dem Neigungswinkel der Erdachse gegen die Bahn und der dadurch bedingten Veränderlichkeit der Lage des Horizontes zur Sonne. Es wird nicht überflüssig sein, dies hier noch, so gut es sich durch eine Zeichnung veranschaulichen läßt, kurz zu erläutern, da die Sache für eine deutliche Vorstellung wichtig ist. Weil sich die Verhältnisse mittelst Zeichnung nicht gut für alle Stellungen der Erde darstellen lassen, so wählen wir hier die Stellungen der Erde in *II* und *IV* *Fig. 51*, wie sie die nebenstehende *Fig. 52* noch einmal zeigt.

Fig. 52.



Es bezeichne in *II* Punkt *B* die Stadt Berlin in $52\frac{1}{2}^0$ nördlicher Breite; die durch *B* gehende Tangente sei der scheinbare Horizont für Berlin in seiner Lage am Mittage des 21. Juni, und die in *B* errichtete Senkrechte die Vertikale, *a* aber das Auge eines Beobachters.

In *II* wird der Punkt *w* des nördlichen Wendekreises senkrecht getroffen, und darum wird hier die Sonne im Zenithe, in 90^0 Höhe gesehen. Von dem Wendekreise ist Berlin $52\frac{1}{2}^0 - 23\frac{1}{2}^0 = 29^0$ entfernt; es muß daher auch das Zenith *z* für *B* 29^0 von der Sonne oder diese von jenem entfernt sein. In der Figur ist Winkel *SMz*, sowie der ihm gleiche Winkel *saz* (wenn nämlich *as* parallel *MS* ist, was in Wirklichkeit wegen der großen Entfernung der Sonne von der Erde angenommen werden kann) $= 29^0$. Ein von *a* aus nach der Sonne gerichtetes Fernrohr *as* macht daher mit dem Horizonte oder der ihm parallelen Linie *ae* den Winkel $sae = 61^0$, und dies ist die Mittagshöhe der Sonne für Berlin am Mittage des 21. Juni. Es neigt sich, wie der Augenschein lehrt, das Südende des Horizontes sehr tief unter die Sonne.

Eine andere Lage zur Sonne hat der Horizont in *IV*, am Mittage des 21. December. Hier wird der Punkt *w'* im südlichen Wendekreise senkrecht

getroffen, und dieser Punkt in $23\frac{1}{2}^0$ südlicher Breite ist von Berlin, *B'*, $52\frac{1}{2}^0 + 23\frac{1}{2}^0 = 76^0$ entfernt. Da für *w'* die Sonne in 90^0 Höhe steht, so muß sie für Berlin 76^0 vom Zenithe abstehen, und Winkel *z'M'S* und der ihm gleiche Winkel *z'a's'* (*a's'* ist als parallel mit *M'S* anzusehen) sind $= 76^0$. Es steht mithin die Sonne in $90^0 - 76^0 = 14^0$ Mittagshöhe, und das nach ihr gerichtete Fernrohr *a's'* macht mit dem Horizonte den Winkel $s'a'e' = 14^0$.

Zeichnet man sich die Lage des Horizontes für Berlin für die Mitternacht des 21. Juni und des 21. December in *b* resp. *b'*, so sieht man unmittelbar, daß der Horizont für *b* um Mitternacht des 21. Juni parallel dem Horizonte für *B'* am Mittage des 21. December ist. Es muß also an dem ersteren Tage um Mitternacht die Sonne so tief unter als am letzteren Tage zu Mittag über dem Horizonte stehen, wie es wirklich der Fall ist.

Ferner sieht man, daß der Horizont für *b'* um Mitternacht des 21. December dieselbe Lage hat, wie der Horizont für *B* zu Mittage des 21. Juni, weshalb sich wieder dieselbe Größe für die Entfernung der Sonne unter resp. über dem Horizonte für die beiden genannten Tage ergeben muß, was ebenfalls mit der Beobachtung übereinstimmt.

Es ist lehrreich, in ähnlicher Weise die Lage des Horizontes sich für verschiedene Oerter der Erde darzustellen; das Mitgetheilte wird genügen zu zeigen, wie dabei zu verfahren ist.

5. **Erklärung der Beständigkeit (Permanenz) des Himmels.** In einem früheren Kapitel, S. 123, haben wir Erd- und Himmelskugel als concentrische Kugeln, die Erdachse als einen Theil der Himmelsachse, die Ebene des Erdäquators als einen Theil der des Himmelsäquators betrachtet, und haben darauf mancherlei Schlüsse gebaut. Kann dies aber Giltigkeit haben, da doch die Erde ihren Ort im Weltenraume fortwährend, und zwar mit außerordentlicher Geschwindigkeit, ändert? Ihre nahezu 130 mill. Mln. lange Bahn legt sie in 365 Tagen, und daher täglich 355884 geogr. Mln., stündlich 14828, und in 1 Sek. nicht weniger als 4,119 Mln. zurück, so daß die Geschwindigkeit in ihrer Bahn etwa das 64fache der Rotationsgeschwindigkeit des Aequators ist. Beständig kommt sie deshalb in andere Regionen des Universums, und nach einem halben Jahr ist sie von ihrem heutigen Orte in gerader Linie mehr denn 41 mill. Mln. entfernt.

Erd- und Himmelskugel scheinen demnach unmöglich als concentrische Kugeln angesehen werden zu können; auch haben wir bereits der Sonne den Mittelpunkt, wenigstens der Erdbahn, eingeräumt. Allein bei den Himmelsräumen gelten andere als unsere irdischen Maße. Wie wir die Erde der fast unermeßlichen Entfernung der Fixsterne von uns gegenüber als einen fast untheilbaren Punkt betrachten mußten, so ist selbst der Durchmesser der Erdbahn von 41 mill. Mln. in Beziehung auf jene große Entfernung der Fixsterne eine verschwindend kleine Größe. Denken wir uns die ganze Erdbahn durch eine große Sonne ausgefüllt, so würde uns dieser colossale Körper, von einem Fixsterne betrachtet, doch nur wie ein leuchtender Punkt erscheinen, sowie sich

uns von der Erde aus die Fixsterne darstellen. Die Erde kann deshalb, trotz ihrer Bewegung um die Sonne, doch als im Mittelpunkte des Himmels stehend, als mit diesem concentrisch angesehen werden.

Indem sich die Erde um die Sonne bewegt, beschreibt die bis zum Himmel verlängert gedachte Erdachse eigentlich die Oberfläche eines Cylinders, dessen Grundflächen am Himmel Kreise von der Größe der Erdbahn sind, die also einen Durchmesser von 41 mill. Mln. haben. Allein der großen Entfernung der Fixsterne gegenüber ist der ganze Cylinder als eine mathematische Linie, und seine Grundflächen sind als mathematische Punkte, als die Pole des Himmels zu betrachten.

Es kann also die Erdachse in Wahrheit als ein Theil der Himmelsachse und diese als die verlängerte Erdachse betrachtet werden. Daß nun auch das über das Verhältnis des Erd- und Himmelsäquators Gesagte seine Giltigkeit behalten muß, versteht sich von selbst; denn wegen des beständigen Parallelismus der Erdachse und des damit verbundenen Parallelismus des Erdäquators muß auch die bis zum Himmel erweitert gedachte Ebene des Erdäquators, d. i. der Himmelsäquator, stets durch dieselben Fixsterne gehen.

Ferner muß die Linie, in welcher die Ebene des Erdäquators die der Ekliptik durchschneidet, welche Linie, bis zum Himmel verlängert, die Aequinoctiallinie giebt, trotz der fortschreitenden Bewegung der Erde so lange denselben Fixsternen zugewandt bleiben, als die Erdachse ihre Richtung im Raume nicht ändert; auch kann sie als stets durch die Sonne gehend angesehen werden.

6. **Die Präcession der Nachtgleichen.** Die Erdachse indessen bewahrt nicht genau jenen Parallelismus. Zwar ist die Aenderung ihrer Lage nur so langsam, daß ihre Folgen in der Dauer eines Menschenlebens kaum merklich sind; allein sie ist doch vorhanden und muß ihren Einfluß, wenigstens nach Jahrtausenden, in Beziehung auf den Anblick des gestirnten Himmels geltendmachen. So wird wegen der Abweichung der Erdachse von dem strengen Parallelismus der Nordpol des Himmels nicht immer in der Nähe des heutigen Polarsternes liegen, und ebenso wenig wird der Himmelsäquator beständig durch dieselben Sterne gehen, und die Durchschnittslinie der Ebene des Erdäquators mit der der Ekliptik, d. h. die Aequinoctiallinie, kann nicht dieselbe Richtung im Raume beibehalten, sondern muß in gleicher Richtung mit der Erdachse, auf den Horizont bezogen, von O. nach W., in der Ebene der Ekliptik herumzuwandern scheinen. Der Frühlingspunkt bleibt darum nicht bei denselben Fixsternen; er schreitet vielmehr jährlich 50″,221, in einem Jahrhundert 1°,394 von O. nach W. oder gegen die Ordnung der Zeichen zurück, so daß er in etwa 26000 Jahren, welche Zeit man wohl das *platonische Jahr* nennt, einen ganzen Umlauf in der Ekliptik vollendet haben wird.

Diese eigenthümliche Bewegung der Aequinoctiallinie, die man die *Präcession* (das Vorrücken) *der Nachtgleichen* zu nennen pflegt, und die zum Theil die Ursache der Nichtübereinstimmung von Zeichen und Sternbild ist, werden wir in ihrem näheren Verlaufe und mit den sie begleitenden Erscheinungen in der dritten Abtheilung des Buches, und zwar in dem von den Fixsternen handelnden Kapitel, noch genauer betrachten. Es mußte ihrer aber schon hier Erwähnung geschehen, weil weiter unten bei der Besprechung unserer Zeitrechnung darauf Rücksicht genommen werden muß.

III. Von den Zonen.

Durch die eigenthümliche Stellung der Achse der Erde zu ihrer Bahn treten hinsichtlich der Erleuchtung und Erwärmung der Erde besondere, mit Ablauf eines Jahres sich wiederholende Verhältnisse ein, die für die Entwicklung der die Erde belebenden und schmückenden organischen Wesen von den größten Einflüssen sind, so daß es gerechtfertigt erscheint, die Sache einer näheren Betrachtung zu unterwerfen.

1. **Vorbereitung.** Die Sonne spendet mit ihren Strahlen der Erde zugleich Licht und Wärme. Die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Erleuchtung und Erwärmung hangen vornehmlich von dem Winkel ab, unter dem sie den Boden treffen. Das Maximum beider tritt bei senkrechter Richtung der Strahlen ein, wie leicht einzusehen ist.

Es können nämlich die Sonnenstrahlen als in paralleler Richtung die Erde treffend angesehen werden. Denken wir uns aus dem mit Lichtstrahlen gleich dicht erfüllten Raum in der Richtung der Sonnenstrahlen einen geraden Cylinder herausgeschnitten, *Fig. 53*, so ist die Grundfläche *o* desselben ein Kreis. Dieser Kreis wird von allen den cylindrischen Raum erfüllenden Strahlen senkrecht getroffen und empfängt so einen bestimmten Grad der Erleuchtung. Denken wir uns aber den Cylinder schief gegen die Achse *ao* desselben, welche letztere zugleich die Richtung der Strahlen bezeichnet, geschnitten, so ist die Schnittfläche nicht mehr ein Kreis, sondern eine Ellipse, die indessen größer ist als der Kreis *o*, und wieder um so größer, je schiefer der Schnitt zur Achse geschah. So ist in der Figur die Fläche *m* größer als *n*. Die den Cylinderraum füllende Lichtmasse ist dieselbe geblieben; sie würde aber, wenn sie zur Beleuchtung der Fläche *m* oder *n* verwandt würde, für diese größeren Flächen einen geringeren Grad der Beleuchtung hervorbringen, als für den Kreis *o*, der, da er die kleinste aller Schnittflächen des Cylinders ist, die größte Erleuchtung erfahren muß. Es ist eine sehr leicht zu lösende Aufgabe, das Größenverhältnis der Schnittflächen für verschiedene Winkel zur Achse und den dadurch bedingten Grad der Erleuchtung für dieselben zu berechnen.

Fig. 53.



Bedeutet die Grundfläche des Cylinders einen Theil der Erdoberfläche, so ist nach dem Obigen klar, daß der Fall bei der Fläche *o* in allen den Gegenden der Erde eintritt, in welchen die Erdoberfläche von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffen wird; es muß hier das Maximum der Erleuchtung eintreten. Dieses Maximum tritt, streng genommen, in jedem Momente nur für einen bestimmten Ort der Erde ein, indem nur ein Punkt senkrecht beschienen wird; aber wegen der Rotation der Erde wandert dieser Punkt in 24 Stdn. um die ganze Erde herum. Je weiter ein Ort von dem Punkte des Maximums entfernt ist, desto schiefer wird wegen der Krümmung der Erdoberfläche der gedachte Cylinder

geschnitten, desto geringer ist also auch die durch die Sonne bewirkte Erleuchtung.

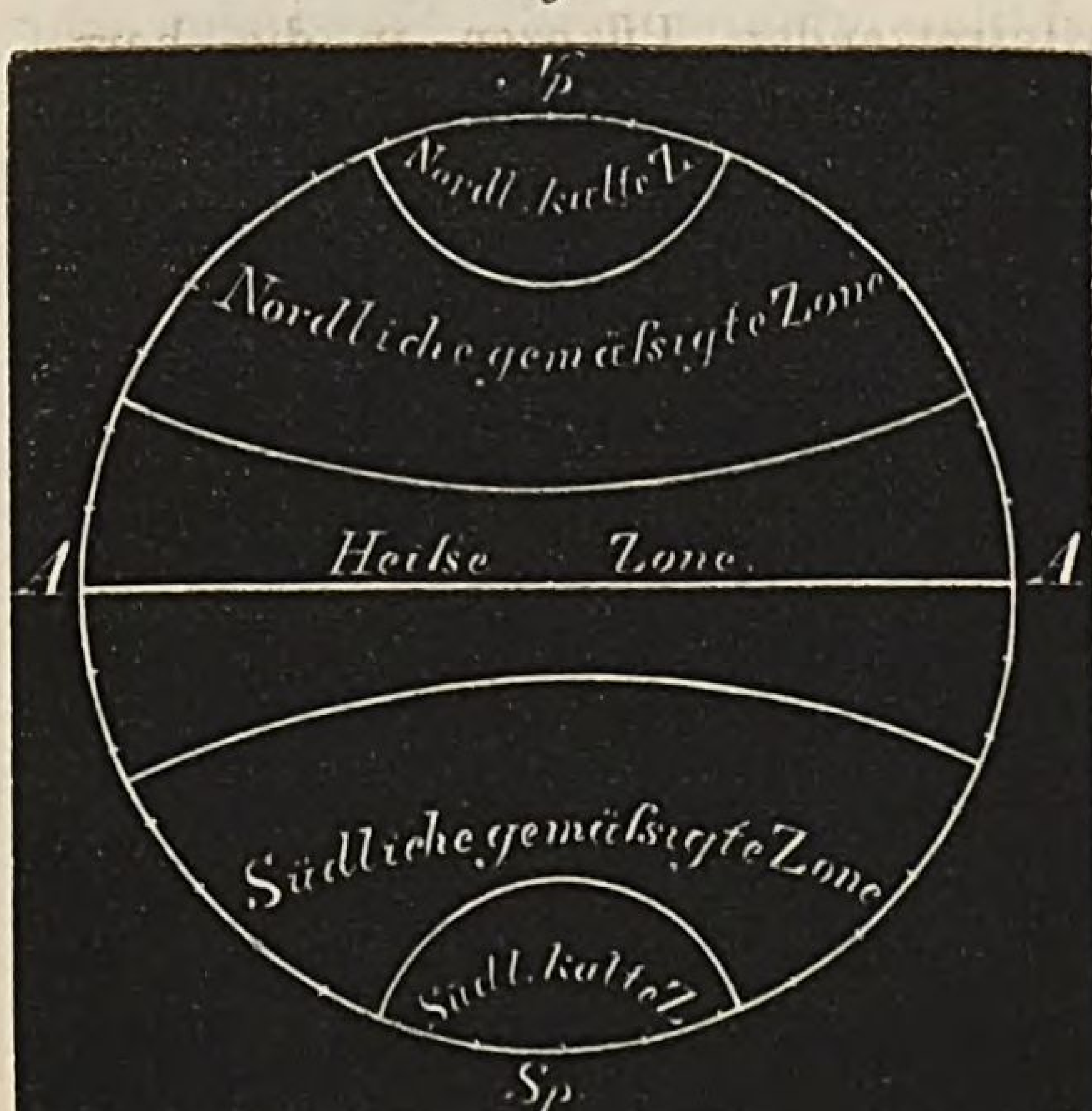
Wenn wir bisher bloß die Erleuchtung im Auge hatten, so gilt doch Aehnliches von der Erwärmung, wenngleich außer der Richtung der Strahlen hierbei noch mancherlei andere Umstände, namentlich auch die Zeit, von wesentlichem Einfluß sind; doch muß die nähere Aufzählung und Erörterung jener Umstände der physikalischen Geographie überlassen werden.

2. **Zahl und Namen der Zonen.** Wegen des Neigungswinkels der Erdachse zur Bahn von $66^1/_2{}^0$ und des Parallelismus der Achse mit sich selbst werden alle Oerter der Erde, die bis $23^1/_2{}^0$ nördlich und südlich vom Aequator entfernt sind oder zwischen den beiden Wendekreisen (*Tropici*) liegen, zweimal im Jahre senkrecht von der Sonne beschienen. Man hat darum mit Recht die beiden Wendekreise als natürliche Grenzen eines Gürtels angesehen, den man wegen der mit dem senkrechten Sonnenstande verbundenen großen Wärme die heiße Zone nennt.

Kein außerhalb der Wendekreise gelegener Ort sieht die Sonne in seinem Zenith, und darin sind alle zwischen den Polen und den Wendekreisen befindlichen Oerter gleich; ein natürlicher Unterschied wird aber bei ihnen dadurch begründet, daß die Sonne zu Zeiten für alle nahe den Polen gelegenen Oerter Tage, Wochen, ja Monate lang nicht unter- und zu anderen Zeiten nicht aufgeht. Da diese nachtlosen Tage und taglosen Nächte mit den Polarkreisen, in $23^1/_2{}^0$ Entfernung von den Polen, beginnen, so hat man diese Kreise als natürliche Grenzen zweier neuen Zonen angenommen, die wegen der dort herrschenden niedrigen Temperatur die kalten Zonen heißen. Man unterscheidet deren zwei, eine nördliche und eine südliche kalte Zone.

Die beiden noch übrig bleibenden, zwischen den Wende- und Polarkreisen liegenden Gegenden der Erde nennt man wegen der hier herrschenden durchschnittlich gemäßigten Temperatur die gemäßigten Zonen, und unterscheidet diese als nördliche und südliche gemäßigte Zone.

Fig. 54.



Es werden demnach im ganzen 5 Zonen unterschieden, *Fig. 54*, die der Art der Beleuchtung der Erde durch die Sonne ihre Entstehung verdanken: 1) die heiße, 2) die nördliche gemäßigte, 3) die südliche gemäßigte, 4) die nördliche kalte, 5) die südliche kalte Zone.

3. **Betrachtung der einzelnen Zonen.**

a) Die heiße Zone, zwischen den beiden Wendekreisen gelegen, hat eine Breite von $2 \times 23^1/_2{}^0 = 47^0 = 705$ geogr.

Meilen und ein Areal von etwa 3,7 mill. Quadratmeilen. Sie nimmt demnach etwa 4/10 der ganzen Erdoberfläche ein. Durch den Aequator zerfällt sie in eine nördliche und in eine südliche Hälfte.

Das Wichtigste über die Eigenthümlichkeiten dieser Zone ist zum Theil bereits, wenn auch vereinzelt, vorgekommen; wir begnügen uns deshalb hier mit kurzer Angabe des Hauptsächlichsten.

In der heißen Zone sind die Tage nahezu von gleicher Länge; genau gilt es nur für den Aequator. An den Wendekreisen ist der längste Tag = 13 Stdn. 28 Min., der kürzeste = 10 Stdn. 32 Min., so daß zwischen beiden ein Unterschied von 2 Stdn. 56 Min. besteht.

Alle Bewohner dieser Zone sehen die Sonne zweimal im Jahre im Zenithe und sind dann unschattig, und dies ist für einen Ort der Fall, wenn die Declination der Sonne gleich seiner geographischen Breite ist. In den übrigen Theilen des Jahres sind die Bewohner zweischattig, indem die Schatten abwechselnd nach N. und nach S. fallen.

Der Wechsel der Jahreszeiten ist in dieser Zone weniger merklich als in den übrigen Zonen, weil die Sonne sich nie weit vom Zenithe entfernt und die Tageslängen wenig von einander verschieden sind. Man unterscheidet nicht unsere 4 Jahreszeiten, sondern gewöhnlich nur die trockene und die nasse Jahreszeit (Regenzeit). Letztere tritt gewöhnlich kurz nach dem senkrechten Sonnenstande ein, denn der Regen folgt im allgemeinen der Sonne. Im nördlichen Theil der heißen Zone fällt darum die Regenzeit in unsern Sommer, im südlichen Theil derselben in unsern Winter, und für die in der Nähe des Aequators gelegenen Oerter treten zwei Regenzeiten ein. Geschieden werden diese letzteren Gegenden durch den Gürtel der Windstillen oder Calmen, in denen es täglich zu regnen pflegt.

Was den Anblick des gestirnten Himmels betrifft, so verweisen wir auf das in dieser Beziehung über die senkrechte Sphäre S. 138 Gesagte, da es mit einigen Aenderungen Giltigkeit für die ganze heiße Zone hat.

Die große Lichtfülle kleidet die saftstrotzenden Pflanzen in die herrlichsten, lebhaftesten Farben; auch unter den Thieren zeichnen sich viele durch schöne Färbung aus.

Die große Wärme in Verbindung mit großer Feuchtigkeit, die viele Gegenden der heißen Zone auszeichnet, verleihen der Pflanzenwelt Saftfülle und riesige Formen, und die an vielen Stellen dieser Zone sich findenden großartigen Urwälder beherbergen entsprechende Thierformen.

Die große Hitze dieser Zone lähmt aber die Spannkraft des Körpers und des Geistes und ist der geistigen Entwicklung des Menschen wenig förderlich.

b) die gemäßigten Zonen liegen zwischen den Wende- und den Polarkreisen, und zwar die nördliche gemäßigte Zone zwischen dem nördlichen Wende- und dem nördlichen Polarkreise, die südliche gemäßigte Zone zwischen dem südlichen Wende- und dem südlichen Polarkreise. Jede von ihnen

hat eine Breite von 43 ° = 645 geogr. Mln. Beide zusammen haben einen Flächenraum von etwa 4,8 mill. Quadratmeilen und nehmen somit etwa $^5/_{10}$ der ganzen Erdoberfläche ein. Man würde mit ihnen also etwa eine Halbkugel der Erde ausfüllen können.

Die Tageslängen sind in den gemäßigten Zonen schon verschiedener als in der heißen Zone. An den Wendekreisen ist der längste Tag = 13 Stdn. 28 Min., an den Polarkreisen = 24 Stdn., und dieselbe Dauer haben natürlich die längsten Nächte. Die Dauer der kürzesten Tage bewegt sich zwischen 10 Stdn. 32 Min. und 0 Stdn.

Die Bewohner dieser Zonen sehen die Sonne nie in ihrem Zenithe, und sie bleibt ihnen zu Mittag um so weiter davon entfernt, je größer ihre geogr. Breite ist. Alle Bewohner der nördlichen gemäßigten Zone sehen die Sonne zu Mittag nach S., die der südlichen gemäßigten Zone nach N. culminiren; dabei fallen die Schatten der ersteren betändig nach N., die der letzteren beständig nach S. Alle Bewohner der gemäßigten Zonen sind einschattig.

Was die Jahreszeiten betrifft, so sind nur in der Mitte dieser Zonen 4 Jahreszeiten, wie bei uns, zu unterscheiden. In der Nähe der Wendekreise nähern sich die Verhältnisse im allgemeinen denen der heißen Zone, nach den Polarkreisen zu denen der noch zu besprechenden kalten Zonen.

Uebrigens haben natürlich die beiden gemäßigten Zonen entgegengesetzte Jahreszeiten, die nördliche hat Sommer, wenn die südliche Winter u. s. w.

Eigenthümlich sind gewissen Gegenden der in Rede stehenden Zonen in ihrem Sommer die längere oder kürzere Zeit dauernden hellen Nächte. Diese beginnen für alle Oerter, die $48^1/_2{}^0$ nördliche oder südliche Breite haben.

Hinsichtlich der Pflanzendecke der Erde zeigen die gemäßigten Zonen eine große Verschiedenheit. Mit zunehmender Breite verliert sich allmählich die tropische Fülle und Farbenpracht, sowie die Mannigfaltigkeit der Pflanzenarten, und an den Polarkreisen bilden dunkle Tannenwälder, wenn Wälder überhaupt noch sich finden, sowie Pflanzen niederer Organisation den einförmigen Schmuck der Landschaft. — Für die geistige Entwicklung des Menschen sind die gemäßigten Zonen am günstigsten.

c) Die kalten Zonen sind eigentlich keine Zonen (Gürtel) mehr, sondern geschlossene Kugelflächen. Die nördliche kalte Zone wird von dem nördlichen, die südliche kalte Zone vom südlichen Polarkreise umschlossen. Sie haben von den Polen bis zu den Polarkreisen je eine Breite von $23^1/_2{}^0 = 352^1/_2$ geogr. Meilen, und zusammen einen Flächenraum von 0,8 mill. Quadratmeilen, so daß sie nur c. $^1/_{10}$ der ganzen Erdoberfläche einnehmen.

Eigenthümlich ist den Gegenden dieser Zonen, daß in ihrem Sommer die Sonne Tage, Wochen und Monate lang nicht unter-, im Winter dagegen nicht auf-, in der übrigen Zeit des Jahres hingegen auf- und untergeht. Letzteres ist an den Polarkreisen mit Ausnahme weniger Tage eigentlich immer, an den Polen nie der Fall; denn einmal sichtbar geworden, erhebt sich hier die Sonne in dem Horizonte parallelen Windungen bis zur geringen Höhe von

$23\frac{1}{2}^{0}$, um in derselben Weise, wie dies bereits bei Besprechung der parallelen Sphäre, S. 144, beschrieben ist, wieder hinabzusteigen.

Mit der Entfernung von den Polen hört der Parallelismus der Tagkreise der Sonne, des Mondes und der Sterne mit dem Horizonte auf, und es neigen sich diese Tagkreise im Verhältnis der Entfernung von den Polen gegen den Horizont, bis sie an den Grenzen der kalten Zonen, an den Polarkreisen, einen Winkel von $23\frac{1}{2}^{0}$ mit demselben bilden. In ihrem Sommer sind alle Bewohner der kalten Zonen längere Zeit hindurch, die etwanigen Polbewohner beständig, umschattig.

Die sehr schräge Richtung, in der die Oerter der kalten Zonen von der Sonne beschienen werden, ist keiner großen Wärmeentwicklung günstig; doch sucht die Sonne durch die längere Zeit, die sie im Sommer unausgesetzt über dem Horizonte dieser Gegenden verweilt, günstigere Verhältnisse herbeizuführen, und in der That erfreuen sich die den Polen ferneren, in der Nähe der Polarkreise, wenigstens des nördlichen Polarkreises, liegenden Oerter einer ziemlich bedeutenden, oft sogar lästigen Sommerwärme, welche die spärlich vorhandenen Pflanzen aus dem erstarrten Boden hervorlockt und einer schnellen Entwicklung entgegenführt. Die Herrschaft in den Polargegenden hat indessen der eisige Winter, der die Landschaft den größten Theil des Jahres hindurch in einen dichten Schneemantel hüllt.

Die kalten Zonen haben demnach nur zwei Jahreszeiten, nämlich einen kurzen, aber oft ziemlich heißen Sommer, und einen langen, sehr strengen Winter. Die Uebergänge zwischen beiden Jahreszeiten sind so plötzlich, daß die Zeiten derselben den Namen »Jahreszeit« nicht verdienen.

Daß die beiden kalten Zonen der körperlichen und geistigen Entwicklung des Menschen durchaus nicht günstig sind, bedarf wohl kaum noch der Erinnerung.

IV. Von den Klimaten.

Neben der Eintheilung der Erde in Zonen pflegten die alten Geographen jede Halbkugel der Erde noch in 30 schmale, durch Parallelkreise von einander geschiedene Zonen zu theilen, welche Klimate genannt wurden. Die die einzelnen Klimate trennenden Parallelkreise dachte man sich zunächst durch die Oerter gezogen, bei denen der längste Tag eine halbe Stunde zugnommen hat. Da nun am Aequator Tag und Nacht beständig = 12 Stdn., an den Polarkreisen aber der längste Tag = 24 Stdn. ist, die Differenz zwischen beiden Tageslängen also 12 Stdn. beträgt; so ergiebt dies vom Aequator bis zu den Polarkreisen 24 Klimate. Diese sind indessen nicht von gleicher Breite, da die Tage mit der Breite nicht gleichmäßig zunehmen; sie werden vielmehr vom Aequator nach den Polen zu beständig schmaler. Aus diesem Grunde, und um die Zahl der Klimate nicht ungebührlich zu vermehren, konnte man innerhalb der Polarkreise nicht in derselben Bestimmungsweise der

Klimate fortfahren. Man setzte hier die Grenzen derselben da, wo die längsten Tage um einen Monat gewachsen sind, und erhielt so noch 6 neue, im ganzen also für jede Halbkugel 30 Klimate. Die Grenzen derselben, sowie die entsprechende Dauer des längsten Tages sind in der folgenden Tabelle angegeben.

No. des Klimas.	Ende des Klimas in geogr. Breite.	Dauer d. längsten Tages.	No. des Klimas.	Ende des Klimas in geogr. Breite.	Dauer d. längsten Tages.
1	8° 34′	12½ Stdn.	16	63° 23′	20 Stdn.
2	16 44	13	17	64 11	20½
3	24 12	13½	18	64 50	21
4	30 48	14	19	65 22	21½
5	36 31	14½	20	65 48	22
6	41 24	15	21	66 8	22½
7	45 32	15½	22	66 21	23
8	49 2	16	23	66 29	23½
9	52 —	16½	24	66 32	24
10	54 31	17	25	67 16	1 Monat
11	56 38	17½	26	69 44	2
12	58 27	18	27	73 22	3
13	60 —	18½	28	78 11	4
14	61 19	19	29	83 50	5
15	62 16	19½	30	90 —	6

Die in dieser Tabelle angegebenen Zahlen sind unter der Annahme berechnet worden, daß Anfang und Ende des Tages dann eintreten, wenn der Mittelpunkt der Sonnenscheibe in den Horizont tritt. Der Einfluß der Strahlenbrechung auf den Auf- und Untergang der Sonne ist außer acht gelassen worden, weshalb die so bestimmten Zahlen mit der Wirklichkeit nicht genau stimmen werden. Besonders wird für die den Polen näheren Gegenden der Unterschied ziemlich beträchtlich, da wegen der schiefen Lage der Tagkreise zum Horizonte der durch die Strahlenbrechung bewirkte Unterschied in den Tageslängen sogar auf Stunden, ja innerhalb der Polarkreise auf Tage und Wochen anwachsen kann.

Temperaturberechnung für verschiedene Breiten. Für die verschiedenen Breiten der Erde hat man die Temperatur zu berechnen versucht, indem man dieselbe als eine Wirkung des Winkels, unter welchem die Sonnenstrahlen die Erde treffen, und der Zeit, während welcher sie wirken, annahm. Namentlich haben sich *Halley* und *Lambert* dieser Arbeit unterzogen; wir lassen die von dem ersteren gefundenen Resultate der Rechnung hier folgen und bemerken nur, daß er den Grad der Erwärmung, den ein Punkt des Aequators zur Zeit der Aequinoctien erfährt, gleich 100 setzte und nun mit Berücksichtigung jener beiden Momente die übrigen Zahlen bestimmte, wie sie in der folgenden Tabelle zu ersehen sind.

Für die geogr. Breite.	Zur Zeit der Nachtgleichen.	Zur Zeit des längsten Tages.	Zur Zeit des kürzesten Tages.
0°	100	91	91
10	98	101	79
20	94	108	66
30	86	113	50
40	76	115	34
50	64	115	19
60	50	113	5
70	34	117	0
80	17	123	0
90	0	12	0

Der Vergleich dieser Zahlen zeigt für die Zeit der Nachtgleichen und des kürzesten Tages eine Abnahme der Wärme nach den Polen zu, hingegen eine Zunahme derselben für die Zeit des längsten Tages, welches letztere seine Erklärung in der größeren Dauer der Tage findet, und in der That werden in hohen Breiten bedeutende Sommertemperaturen beobachtet. So bringt in 60° nördlicher Breite der Juli zuweilen eine Wärme von 30°, und unter dem 70. Grade ist die Hitze oft so groß, daß das Pech der Schiffe flüssig zu werden beginnt.

Wenn aber das durch Rechnung gefundene Resultat auch im allgemeinen mit den wirklich bestehenden Verhältnissen zusammenstimmt, so gilt dies doch durchaus nicht im einzelnen; vielmehr weichen Rechnung und Erfahrung oft bedeutend von einander ab. Dies ist aber sehr erklärlich, da auf die Erwärmung eines Landes außer jenen beiden in Rechnung gezogenen Momenten noch viele andere Umstände als z. B. die Höhe und Beschaffenheit des Landes, die Lage zum Meere, die geographische Länge u. s. w. wirksam sind.

Es ist darum das berechnete Sonnen- oder astronomische Klima oft sehr beträchtlich von dem wirklich beobachteten, dem physischen Klima, verschieden. Es würde indessen zu weit führen, wollten wir hier die Sache bis ins einzelne verfolgen; es gehört die genauere Ausführung wieder in die physikalische Geographie. Wir müssen uns hier begnügen, über den interessanten Gegenstand einiges angedeutet zu haben.

V. Die Erdbahn ist eine Ellipse.

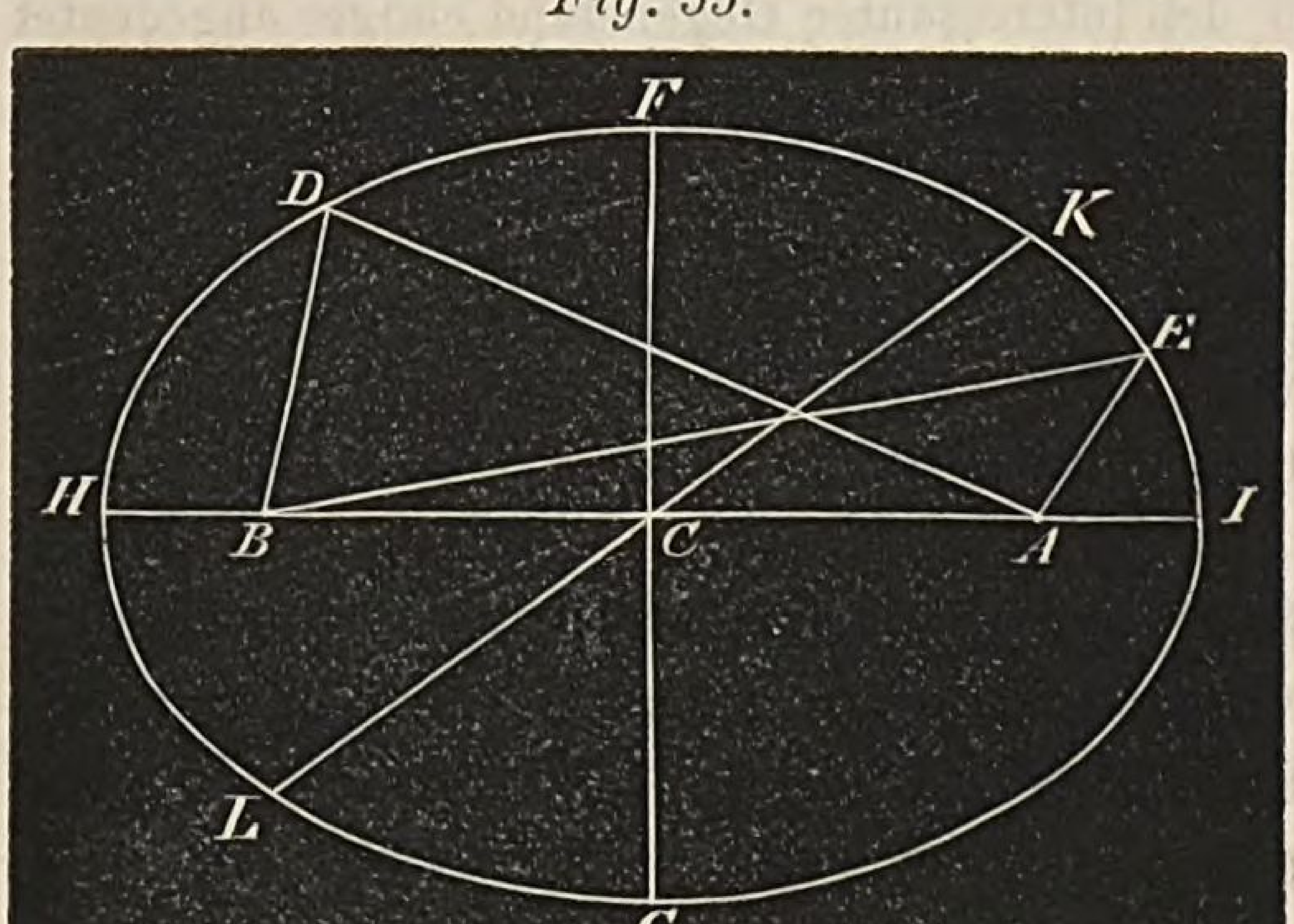
Bis jetzt haben wir, wie dies ohne Beeinträchtigung der daraus herzuleitenden Folgen geschehen konnte, die Erdbahn als einen Kreis angesehen und der Sonne ihren Platz in dem Mittelpunkte dieses Kreises angewiesen. Es trifft diese Annahme in der Wirklichkeit aber nicht zu; denn die Erdbahn ist kein Kreis, sondern eine länglich runde Figur, nämlich eine Ellipse. Es wird daher gut sein, uns über die Eigenschaften der Ellipse erst richtige Ansichten zu verschaffen, und zu diesen werden wir am besten gelangen, wenn wir uns

die Entstehung einer Ellipse und ihr Verhältnis zum Kreise vergegenwärtigen.

Entstehung und Eigenschaften des Kreises und der Ellipse. Schlingt man um einen festen Stift eine in sich geschlossene Schnur, spannt diese vermittelst eines Schreibstiftes und führt diesen bei gespannter Schnur um jenen festen Stift in einer Ebene herum, so muß eine krumme, in sich geschlossene Linie, eine Kreislinie, entstehen. Die Eigenschaften derselben ergeben sich von selbst aus der Entstehungsweise: sie muß nämlich von jenem feststehenden Punkte, dem Mittelpunkte oder Centrum, überall gleich weit entfernt sein, oder die geraden Linien, welche das Centrum mit einem Punkte der Kreislinie (Peripherie) verbinden, müssen einander gleich sein. Solche geraden Linien heißen Halbmesser oder Radien des Kreises; es sind also alle Radien eines Kreises gleich lang. Verlängert man einen Radius über den Mittelpunkt des Kreises hinaus bis zur entgegengesetzten Seite der Peripherie, so erhält man einen Durchmesser oder Diameter des Kreises. Es sind natürlich auch alle Durchmesser eines Kreises von gleicher Länge. Ferner folgt aus der Entstehungsweise des Kreises, daß die Kreislinie in allen Theilen dieselbe Krümmung haben muß: sie ist eine regelmäßig krumme Linie.

Legen wir dagegen um zwei feststehende, etwas von einander entfernte Stifte eine in sich geschlossene Schnur, spannen diese vermittelst eines Schreibstiftes und führen diesen, wie in dem ersten Falle, um die Stifte herum; so erhalten wir ebenfalls eine in sich geschlossene krumme Linie, die aber eine länglich runde Figur bildet. Eine so entstandene Figur nennt man eine Ellipse. Eine solche stellt *Fig. 55.* dar. In ihr waren A und B die feststehenden Punkte; man nennt sie die Brennpunkte der Ellipse, weil, wenn man z. B. der Fläche eines Hohlspiegels eine elliptische Krümmung giebt, die etwa von einer glühenden Kohle oder einer Flamme, welche sich in dem einen Brennpunkte befindet, ausgehenden Wärmestrahlen in dem andern Brennpunkte gesammelt werden, so daß sie eine zündende Kraft erlangen.

Fig. 55.



Die gerade Linie HI, welche durch die beiden Brennpunkte geht, ist die größte Linie der Ellipse und heißt die große Achse derselben. Ihre Endpunkte H und I nennt man die Scheitel der Ellipse.

Halbirt man die große Achse, so heißt der Halbirungspunkt, C, der Mittelpunkt oder das Centrum der Ellipse. Das Centrum ist von den beiden Brennpunkten gleich weit ent-

fernt, $CA = CB$. Die Entfernung der Brennpunkte von dem Centrum, CA und CB, nennt man die Excentricität der Ellipse. Je näher die Brennpunkte dem Centrum rücken, oder je kleiner die Excentricität der Ellipse ist, desto mehr nähert sie sich dem Kreise, falls die große Achse unverändert bleibt. Der Kreis kann als eine Ellipse mit der Excentricität Null angesehen werden. Je größer hingegen die Excentricität ist, desto länglicher ist die Ellipse. Die Größe der Excentricität bestimmt man im Verhältnis zur halben großen Achse; bei astronomischen Rechnungen ist sie die Zahl, durch welche dieselbe ausgedrückt wird, wenn die halbe große Achse = 1 gesetzt wird. Wäre z. B. die Excentricität einer Ellipse = 0,12, so hieße dies: die Excentricität beträgt 12mal den hundertsten Theil der halben großen Achse. Kennt man daher die Länge der großen Achse in gewissen Einheiten, so kann man daraus leicht die Entfernung der Brennpunkte von dem Centrum, d. i. die Excentricität, in denselben Einheiten finden.

Durchneidet man die große Achse im Centrum senkrecht, so erhält man die kleinste Linie, FG oder die kleine Achse der Ellipse. Die beiden Achsen halbiren sich gegenseitig und theilen die Ellipse in 4 gleiche Theile.

Halbirt wird die Ellipse nur von solchen geraden Linien, die durch das Centrum gehen. Die Endpunkte solcher Linien sind correspondirende oder einander entsprechende Punkte der Ellipse, wie in der Figur F und G, H und I, K und L. In correspondirenden Punkten, aber auch nur in diesen, hat die Ellipse eine gleiche Krümmung; die Ellipse ist daher eine symmetrisch krumme Linie. F und G, die Endpunkte der kleinen Achse, sind die Punkte der kleinsten, H und I, die Endpunkte der großen Achse, die Punkte der stärksten Krümmung. — Ein Schnitt durch einen der Brennpunkte theilt die Ellipse in zwei ungleiche Theile.

Stellen wir uns die Schnur in dem Punkte H gespannt vor, so daß sie also die gerade Linie ABH bildet, so liegt sie überall doppelt. Denken wir uns nun die eine Hälfte der zwischen B und H doppelten Schnur den Raum zwischen A und I ausfüllend ($BH = AI$), so liegt sie noch zwischen A und B doppelt. Die ganze Schnur ist also gleich $HI + AB$, d. i. gleich der großen Achse der Ellipse + der doppelten Excentricität. Nehmen wir diese von derselben hinweg, so bleibt die große Achse übrig. Ist die Schnur in D gespannt, so bildet sie das Dreieck ADB, in E gespannt, das Dreieck AEB. — Nach dem Gesagten ist klar, daß in dem ersteren Dreieck die Summe der beiden Seiten AD und BD, in dem zweiten Dreieck die der Seiten AE und BE gleich der großen Achse sein muß. Man kann darum den Satz aussprechen: Die Summe der Entfernung eines Punktes der Ellipse von den beiden Brennpunkten ist stets gleich der großen Achse derselben. Nun nennt man aber die von den Brennpunkten nach einem Punkte der Peripherie gehenden geraden Linien Leitstrahlen oder *Radii vectores*; darum kann der obige Satz auch so ausgedrückt werden: Die Summe zweier Leitstrahlen ist stets der großen Achse der Ellipse gleich. Dieser Satz

bezeichnet ein Hauptmerkmal der Ellipse und ist der Schlüssel zu vielen Sätzen über dieselben.

Folgen der Bewegung der Erde in einer elliptischen Bahn.

Die Erde bewegt sich also in einer Ellipse um die Sonne, und letztere steht nicht in dem Centrum, sondern in einem der Brennpunkte der Ellipse. Dessen ungeachtet erscheint die Erdbahn, auf den Himmel als auf eine Kugel projicirt, als ein Kreis, so daß alles in dieser Beziehung früher Gesagte seine Wahrheit behält.

1. **Ungleiche Entfernung der Erde von der Sonne.** Was aber die Entfernung der Erde von der Sonne betrifft, so ist sie einem beständigen Wechsel unterworfen. Es giebt einen Punkt der Bahn, in dem die Erde der Sonne am nächsten, und einen andern, in dem sie ihr am fernsten ist, und nach dem, was wir über die Beschaffenheit der Ellipse mitgetheilt haben, müssen diese beiden Punkte die Endpunkte der großen Achse der Erdbahn sein. Den der Sonne nächsten Punkt der Erdbahn nennt man den Punkt der Sonnennähe oder das Perihelium, und den der Sonne fernsten Punkt den Punkt der Sonnenferne oder das Aphelium. Perihelium und Aphelium heißen auch wohl die Apsiden der Bahn, und die sie verbindende gerade Linie (die große Achse) die Apsidenlinie.

Im Perihelium, gegenwärtig am 1. Januar des Jahres, hat die Erde eine Entfernung von 20334825 Mln. von der Sonne, in dem Aphelium, am 2. Juli, eine Entfernung von 21030055 Mln. Erstere Zahl giebt die kleinste, letztere die größte Entfernung der Erde von der Sonne an. Die ganze große Achse der Erdbahn ist darum gleich 41364880 Mln, und die Hälfte derselben, die man gewöhnlich die mittlere Entfernung zu nennen pflegt, mithin 20682440 Mln. Zieht man jene kleinste Entfernung von dieser mittleren ab, so erhält man 347615 Mln., welche Zahl die Größe der Excentricität der Erdbahn angiebt, und die im Verhältnis zur halben großen Achse 0,01677 dieser ist. Diese Zahl, etwa $^1/_{60}$, bezeichnete um das Jahr 1840 die Excentricität der Erdbahn.

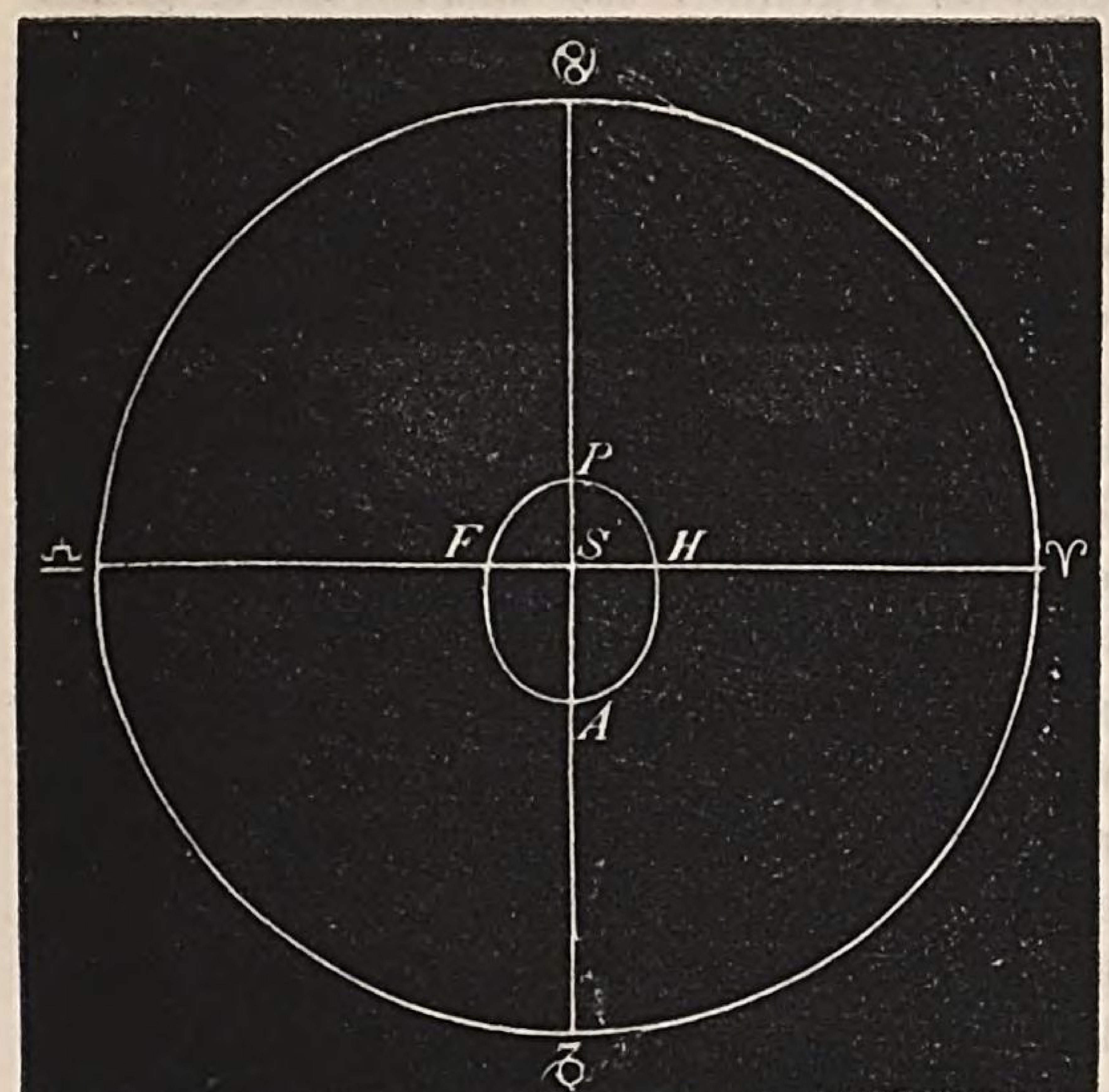
Wollte man sich durch Construction einer Zeichnung eine Vorstellung von der Form der Erdbahn verschaffen, so würde man diese nahezu richtig erhalten, wenn man eine gerade Linie, welche die große Achse einer Ellipse vorstellen soll, zuerst in 2 und darauf jede Hälfte wieder in 60 gleiche Theile theilte, dann in den dem Halbirungspunkte zunächstliegenden Theilungspunkten die bekannten Stifte befestigte und nun auf die beschriebene Weise eine Ellipse mit jener großen Achse construirte. Führt man die Zeichnung aus, so erhält man eine Figur, die ein ungeübtes Auge kaum von einem Kreise würde zu unterscheiden vermögen.

2. **Ungleiche Hälften der Bahn.** Die auf den Himmel projicirte Erdbahn, die Ekliptik, zerfällt durch die stets durch die Sonne gehend zu den-

kende Aequinoctiallinie in zwei gleiche Theile, nicht aber die Erdbahn; vielmehr muß der Theil der Bahn, in welchem das Perihel liegt, stets kleiner sein als der Theil, in welchem sich das Aphelium befindet.

Um uns dies klar zu machen, möge in *Fig. 56* der äußerste Kreis die Ekliptik, und die Ellipse *FPHA* die Erdbahn bezeichnen. In dieser seien die Punkte *H* und *F* die Punkte, in denen die Erde am Anfange des Herbstes resp. Frühlings sich befindet, so daß die Linie *FH* in ihrer Verlängerung bis ♈ und ♎ die durch die Sonne *S* gehende Aequinoctiallinie vorstellt. Punkt *P* bedeutet das Perihel, *A* das Aphel, und die Linie *PA* und ihre Verlängerung bis ♋ und ♑ die Apsidenlinie.

Fig. 56.



Der Anblick der Figur lehrt, daß die Aequinoctiallinie zwar die Ekliptik, nicht aber auch die Erdbahn halbirt; denn offenbar ist der Theil *HPF* oder der Theil, in dem das Perihel liegt, kleiner als der entgegengesetzte Theil *FAH*, in dem sich das Aphel befindet. Wenn nun auch die Apsidenlinie in unserem Jahrhundert nicht genau die in der Figur angegebene, sondern eine später noch genauer zu bezeichnende Lage hat; so wird doch aus dem Bisherigen klar sein, daß die Aequinoctiallinie nur in dem Falle die Erdbahn halbiren kann, wenn sie ganz mit der Apsidenlinie zusammenfällt. In allen andern Lagen der Aequinoctiallinie muß die Erdbahn durch sie in zwei ungleiche Theile zerfallen, und dies kann nicht ohne Einfluß auf die Zeit bleiben, in welcher die Erde die beiden durch die Aequinoctiallinie geschiedenen Hälften der Bahn durchläuft; denn nothwendig muß, selbst bei angenommener gleichmäßiger Geschwindigkeit der Erde, die kleinere Hälfte in kürzerer Zeit zurückgelegt werden, als die größere. Der Einfluß, der dadurch auf die Dauer der Jahreszeiten hervorgerufen wird, wird aber noch bedeutender durch die verschiedene Geschwindigkeit, mit welcher die Erde wegen ihrer ungleichen Entfernung von der Sonne ihre Bahn zurücklegt.

3. **Ungleiche Geschwindigkeit der Erde.** Ohne einer späteren Auseinandersetzung vorzugreifen, welche die Gesetze der Bewegungen der Himmelskörper zum Gegenstande haben wird, muß an dieser Stelle doch schon angedeutet werden, daß es vornehmlich die Sonne ist, welche die Bewegung der Erde durch die ihr inwohnende große Anziehungskraft regelt. Sie erhält

dieselbe durch ihre außerordentlich große Masse; denn diese ist so bedeutend, daß sie die der Erde (nach *Bessel*) 359551 mal übertrifft. Darum wird nicht bloß die Erde, sondern, wie wir weiter unten noch sehen werden, auch viele andere Himmelskörper von ihr abhängig.

Außer von der Masse ist aber die Anziehungskraft, welche ein Körper auf einen andern ausübt, noch von der Entfernung beider Körper von einander abhängig, und es ist leicht zu begreifen, daß dieselbe um so größer sein werde, je kleiner, und um so kleiner, je größer die Entfernung beider Körper von einander ist.

Die Anziehung, welche Körper auf einander ausüben, äußert sich als Bewegung, und die Größe der Bewegung in einer gewissen Zeit oder die Geschwindigkeit ist ein Maß für die Größe der Anziehung. Je größer die Geschwindigkeit ist, desto größer muß die Anziehung sein, und umgekehrt.

Wäre die Erdbahn ein Kreis, in dessen Mittelpunkte die Sonne stände, so hätte die Erde von dieser stets eine gleiche Entfernung, und darum müßte auch die Wirkung der Sonne auf die Erde stets dieselbe bleiben. Die Erde müßte sich mit vollkommen gleichmäßiger Geschwindigkeit um die Sonne bewegen, so daß also in gleichen, auf einander folgenden Zeiteinheiten vollkommen gleiche Bogen der Bahn durchlaufen würden. Es müßten dann zugleich die Flächen, die ein von der Sonne zur Erde gehender Leitstrahl oder *Radius vector* in gleichen Zeiteinheiten durchliefe, eine gleiche Größe haben.

Weil indes wegen der elliptischen Gestalt der Erdbahn die Entfernung der Erde von der Sonne sich fortwährend ändert, so muß auch die Geschwindigkeit der Erde einer beständigen Aenderung unterworfen sein; sie muß wegen abnehmender Entfernung größer werden auf dem Wege der Erde vom Aphel bis zum Perihel, kleiner, wegen zunehmender Entfernung, auf dem Wege vom Perihel zum Aphel. Die Erde durchläuft also in gleichen Zeiten ungleiche Bogen ihrer Bahn.

In der Sonnennähe macht sie in 24 Stdn. einen Bogen von 61′ 10″,1 = 1°,01947, in der Sonnenferne nur 57′ 11″,7 = 0°,95325, während sie im Mittel 59′ 8″,3 = 0°,98564 zurücklegt. Wenn aber auch die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn keine gleichmäßige ist, so geschehen Zu- und Abnahme derselben doch nicht ohne Gesetz, und dies Gesetz liegt in dem später näher zu entwickelnden Satze ausgedrückt: Der *Radius vector* beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Räume. Wenn also auch von der Erde in gleichen Zeiten nicht gleiche Bogen zurückgelegt werden, so sind doch die von einem Sonne und Erde verbindenden Leitstrahle in gleichen Zeiten durchlaufenen Flächen einander gleich, wie wenn die Bahn ein Kreis wäre.

4. **Ungleiche Dauer der Jahreszeiten.** Wegen der ungleichmäßigen Geschwindigkeit muß die Erde, wenn wir die Aequinoctiallinie ihre Bahn theilend denken, den Theil der letzteren, in welchem das Perihel liegt, in kürzerer Zeit durchlaufen als die entgegengesetzte Hälfte, in der sich das Aphel befindet. Dieser Umstand ist aber von Einfluß auf die Dauer unserer Jahres-

zeiten. Eine Jahreszeit ist nämlich astronomisch um, wenn die Sonne scheinbar 90° der Ekliptik in Beziehung auf die Aequinoctial- und Solstitial-Punkte durchlaufen hat.

Es bewegt sich aber die Sonne:

vom Frühlingspunkte	bis zum Sommer-Solstitialpunkte	in	92,91 Tg.
» Sommer-Solstitialpunkte	» » Herbstpunkte	»	93,57 »
» Herbstpunkte	» » Winter-Solstitialpunkte	»	89,70 »
» Winter-Solstitialpunkte	» » Frühlingspunkte	»	89,07 »

Es ist also die Dauer des Frühlings der nördlichen Halbkugel	=	92,91 Tg.
» » Sommers » »	=	93,57 »
des Sommer-Halbjahrs	=	186,48 Tg.
Es ist aber die Dauer des Herbstes der nördlichen Halbkugel	=	89,70 Tg.
» » Winters „ »	=	89,07 »
des Winter-Halbjahrs	=	178,77 Tg.

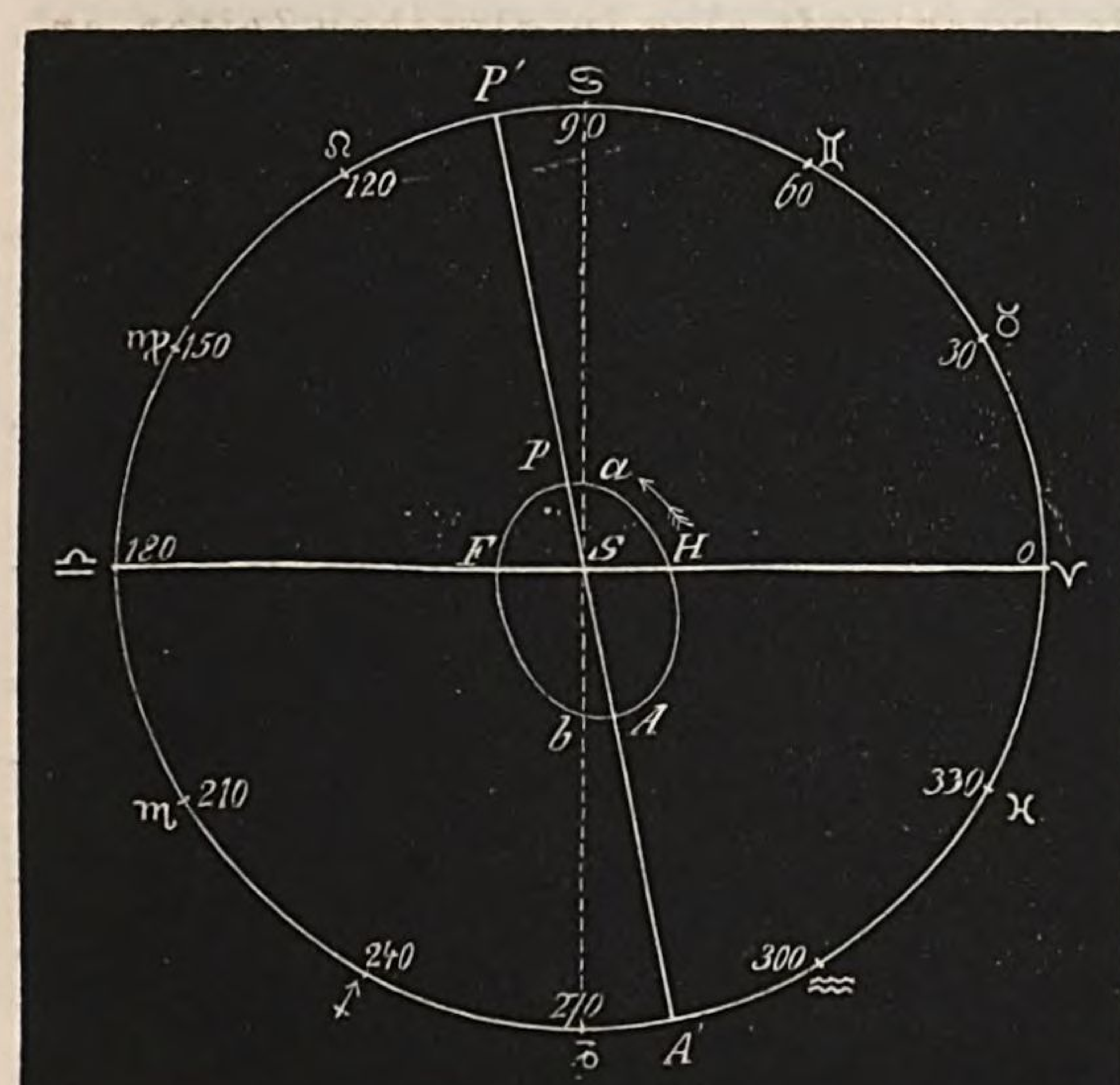
Demnach sind Frühling und Sommer der nördlichen Halbkugel oder unser Sommer-Halbjahr 7,71 Tg. länger als unser Winter-Halbjahr, was offenbar eine Wohlthat für uns ist.

Auf der südlichen Halbkugel gestalten sich die Verhältnisse natürlich umgekehrt; dort ist das Winter-Halbjahr länger als das Sommer-Halbjahr.

Den längeren Sommer verdanken wir dem Umstande, daß in demjenigen Theile der Bahn, den die Erde in unserm Sommer durchläuft, das Aphelium liegt, und darum die Erde sich langsamer bewegt als in der anderen Hälfte der Bahn. Außerdem ist aber auch jene erste Hälfte größer als diese.

Zum genaueren Verständnis der Sache sei bemerkt, daß im Jahre 1850 die Länge des Perihels 100° 21′ 42″ betrug, die große Achse der Erdbahn also ungefähr die Lage von PA in *Fig. 57* hatte, in welcher der Bogen HaP eine Länge von 100° 21′ 42″ darstellen soll. In dem Perihel P steht die Erde am 1. Januar, in dem Aphel A hingegen am 2. Juli.

Fig. 57.



Unmöglich kann bei der angegebenen Lage der großen Achse der Erdbahn diese durch die Aequinoctiallinie FH in zwei gleiche Theile getheilt werden; es ist vielmehr HPF kleiner als FAH.

Nun durchläuft die Erde in unserm Frühling den Theil *Fb* mit verzögerter Geschwindigkeit in 92,91 Tg. und die Sonne geocentrisch die Zeichen der Ekliptik ♈, ♉, ♊ bis zum Anfangspunkte ♋.

Im Sommer bewegt sich die Erde von *b* bis *H*, also durch einen größeren Weg, anfangs, von *b* bis *A*, mit verzögerter, später, von *A* bis *H*, mit beschleunigter Bewegung in 93,57 Tg., und die Sonne scheinbar durch die Zeichen ♋, ♌, ♍ bis zum Anfangspunkte ♎.

Im Herbst schreitet die Erde von *H* bis *a* mit noch mehr beschleunigter Bewegung in 89,70 Tg. vor, in welcher Zeit die Sonne scheinbar durch die Zeichen ♎, ♏, ♐ bis zum Anfange ♑ fortrückt.

Am schnellsten aber wird im Winter der Theil *aPF* zurückgelegt, anfangs, bis zum Perihel *P*, mit beschleunigter, dann mit verzögerter Bewegung, und zwar in 89,07 Tg., während welcher Zeit die Sonne geocentrisch durch die Zeichen ♑, ♒, ♓ bis zum Anfange ♈ fortschreitet.

Wie die Verhältnisse jetzt sich gestalten, waren sie nicht immer und werden auch in Zukunft nicht so bleiben, weil das Perihel und mithin auch das Aphel nicht dieselbe Lage behalten, sondern in beständiger Bewegung begriffen sind, und zwar verändern gegenwärtig beide Punkte ihre Länge in Beziehung auf den Frühlingspunkt jährlich in der Reihenfolge der Zeichen um 61″,47, und in einem Jahrhundert um 1°,72. Diese Größen sind aber nicht für alle Zeiten geltend, da auf die Bewegung der Apsidenlinie die verschiedensten Verhältnisse einwirken, was später bei den sogenannten Störungen näher ausgeführt werden wird. Trotz der Schwierigkeit der Rechnung hat *Laplace* versucht, die Lage der Apsidenlinie für verschiedene Zeiten der Vergangenheit und der Zukunft annähernd zu berechnen. Nach ihm war vor 5800 Jahren, d. i. etwa 4000 Jahre vor Chr. Geb., die Länge des Perihels = 0. Es fiel *P* in *H*, und darum die Apsidenlinie genau mit der Aequinoctiallinie zusammen. Es muß damals also die Aequinoctiallinie die Erdbahn in zwei gleiche Theile getheilt haben, und das Sommer-Halbjahr gleich dem Winter-Halbjahr gewesen sein.

Wenn schon dieser Umstand jene Zeit als eine neue Epoche bildend ansehen läßt, so hat das Jahr 4000 vor Chr. noch das Eigenthümliche, daß es von den Chronologen als die Zeit angegeben wird, in welche die Entstehung unserer Erde falle oder, wie noch wahrscheinlicher, die ersten Menschen auf der Erde erschienen.

Zur Zeit des griechischen Astronomen *Hipparch*, im Jahre 140 vor Chr., war die Länge des Perihels 60°; es fiel also zwischen *H* und *P*, und nach den Bestimmungen dieses großen Astronomen war die Dauer des Frühlings 94,5 Tg., die des Sommers 92,5 Tg., so daß nicht, wie gegenwärtig, der Sommer, sondern der Frühling die längste Dauer hatte.

Im Jahre 1250, zur Zeit des letzten Kreuzzuges, war die Länge des Perihels gerade 90°, so daß die Apsidenlinie mit der Solstitiallinie zusammenfiel, die kleine Achse aber mit der Aequinoctiallinie parallel war, wie *Fig. 56* diese Lage zeigt. Es mußte die Aequinoctiallinie die Erdbahn so theilen, daß

der Theil, in welchem das Perihel lag, möglichst klein, hingegen der Theil, in welchem sich das Aphel befand, möglichst groß war. Darum mußte das Sommer-Halbjahr die möglichst größte, das Winter-Halbjahr die möglichst kleinste Dauer haben; denn in jenem wurde der größte Theil der Bahn mit der kleinsten, in diesem der kleinste Theil mit der größten Geschwindigkeit durchlaufen. Uebrigens war der Frühling dem Sommer, und der Herbst dem Winter an Länge gleich.

In dem Jahre 6470 n. Chr. wird die Länge des Perihels bis auf 180° angewachsen sein, dieses also bei F liegen, und mithin die Erdbahn die entgegengesetzte Lage von der im Jahre 4000 v. Chr. haben. Dann wird das Sommer-Halbjahr gleich dem Winter-Halbjahr sein, von nun ab aber ersteres für die südliche Halbkugel der Erde länger werden als für die nördliche. So wird allmählich die Apsidenlinie einen ganzen Umlauf um die Sonne vollenden, und zwar in einem Zeitraume von ungefähr 21000 Jahren. In dieser Zeit wird also das Perihel 360° in Beziehung auf den Frühlingspunkt zurückgelegt oder seine tropische Revolution vollendet haben. Es muß aber nochmals bemerkt werden, daß die angegebenen Zahlenwerthe vielleicht nur unvollkommene Annäherungen an die Wahrheit sind, da es unmöglich ist, für so lange Zeiträume alle einschlagenden Verhältnisse gehörig in Rechnung zu ziehen.

VI. Von der Zeit.

1. **Dauer des Jahres.** Die Zeit, welche die Erde gebraucht, um einen Umlauf oder ihre Revolution um die Sonne zu vollenden, nennen wir ein Jahr; weil aber die Bewegung der Erde selbst nicht gefühlt wird, sondern sich in der scheinbaren Bewegung der Sonne zu erkennen giebt, so kann man unter einem Jahr auch die Zeit verstehen, während welcher die Sonne scheinbar einen Umlauf in der Ekliptik vollendet.

Es kann dieser Umlauf aber in Beziehung auf verschiedene Punkte der Ekliptik bestimmt werden, z. B. in Beziehung auf den Frühlingspunkt oder einen bestimmten Fixstern, oder das Perihel, und darum unterscheidet man verschiedene Jahre.

Am wichtigsten ist die Bestimmung des Umlaufs in Beziehung auf den Frühlingspunkt. Es erfolgt ein solcher Umlauf um die Mitte des 19. Jahrhunderts in 365,24222 Tagen oder 365 Tg. 5 Stdn. 48 Min. 47,8 Sek. Man nennt diese Dauer das tropische Jahr, und dies bildet die Grundlage unserer bürgerlichen Zeitrechnung. Es ist zugleich die Zeit, in welcher die Erde wieder genau dieselbe Stellung zur Sonne eingenommen hat und der Kreislauf der Erscheinungen sich erneuert.

Der Frühlingspunkt am Himmel ist aber, wie wir bereits wissen, wegen des nicht strengen Parallelismus der Erdachse kein fester Punkt, sondern er schreitet jährlich 50″,221 oder 0°,013947, in einem Jahrhundert daher 1°,3947

gegen die Ordnung der Zeichen in der Ekliptik zurück. Er rückt also gleichsam der Sonne entgegen, und darum muß die Sonne früher zum Frühlingspunkte als zu demselben Fixstern zurückkehren. Um zu diesem zu gelangen, muß sie noch den Weg, um welchen der Frühlingspunkt sich jährlich gegen die Fixsterne bewegt, also $0^0,013947$ durchlaufen, und hierzu gebraucht sie $\frac{0,013947 \times 365,24222}{360}$ $= 0,014150$ Tage. Demnach hat die Sonne $365,24222 + 0,014150 =$ $365,25637$ Tage oder 365 Tg. 6 Stdn. 9 Min. 10,7496 Sek. nöthig, um zu demselben Fixsterne zurückzukehren. Man nennt diese Dauer das siderische Jahr; es bezeichnet die Zeit, in welcher die Sonne scheinbar genau 360^0 durchlaufen hat.

Auch das Perihel und das Aphel sind bewegliche Punkte; sie bewegen sich in einem Jahre in Beziehung auf den Frühlingspunkt um $0^0,0172$, aber nicht gegen die Ordnung der Zeichen, sondern in derselben. Darum muß die Zeit, welcher die Sonne bedarf, um vom Perihel bis wieder zum Perihel zu kommen, um die Zeit größer sein als das tropische Jahr, welche nöthig ist, einen Bogen von $0^0,0172$ zu durchlaufen. Diese Zeit beträgt $\frac{0,0172 \times 365,24222}{360} = 0,01745$ Tage, so daß demnach die Dauer des anomalistischen Jahres $= 365,24222$ $+ 0,01745 = 365,25967$ Tg. ist.

2. **Stern- und Sonnenzeit.** In früheren Kapiteln, S. 31 u. 59, ist bereits einiges über Stern- und Sonnenzeit gesagt worden. Durch die obigen Auseinandersetzungen sind wir in den Stand gesetzt, diesen wichtigen Gegenstand hier mit größerer Gründlichkeit zu behandeln.

Wie wir uns erinnern, versteht man unter einem Sterntage die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Culminationen eines Fixsterns verfließt. Da aber die tägliche Bewegung der Fixsterne durch die Rotation der Erde veranlaßt wird, so kann man einen Sterntag auch als die Zeit erklären, während welcher die Erde einen Umschwung vollendet oder jeder Punkt ihrer Oberfläche mit Ausnahme der Pole 360^0 zurücklegt. Anstatt eines Fixsterns pflegt man den Frühlingspunkt zur Bestimmung des Sterntages zu benutzen, und die zwischen zwei auf einander folgenden oberen Culminationen dieses Punktes verfließende Zeit einen Sterntag zu nennen. Zwar ist der Frühlingspunkt kein fester Punkt; allein seine Ortsveränderung während eines Tages ist so unbeträchtlich, daß sie hier ganz außer acht gelassen werden kann.

Alle Sterntage sind von vollkommen gleicher Länge. Man theilt sie in 24 gleiche Theile und nennt diese Theile Stunden. Jede Stunde zerfällt wieder in 60 Min. und jede Minute in 60 Sek.; ein ganzer Sterntag hat also 86400 Sek. In dieser Zeit durchläuft in Wirklichkeit jeder Punkt der Erde, mit Ausnahme der Pole, oder scheinbar jeder Fixstern am Himmel einen ganzen Kreis oder 360^0, und zwar in der Richtung des Aequators. In jeder Stunde ändert darum jeder Fixstern seinen Stand zum Meridian um $^{360}/_{24}{}^0 = 15^0$, und es heißt ein solcher Winkel bekanntlich ein Stundenwinkel. Einer Zeit von 2, 3,

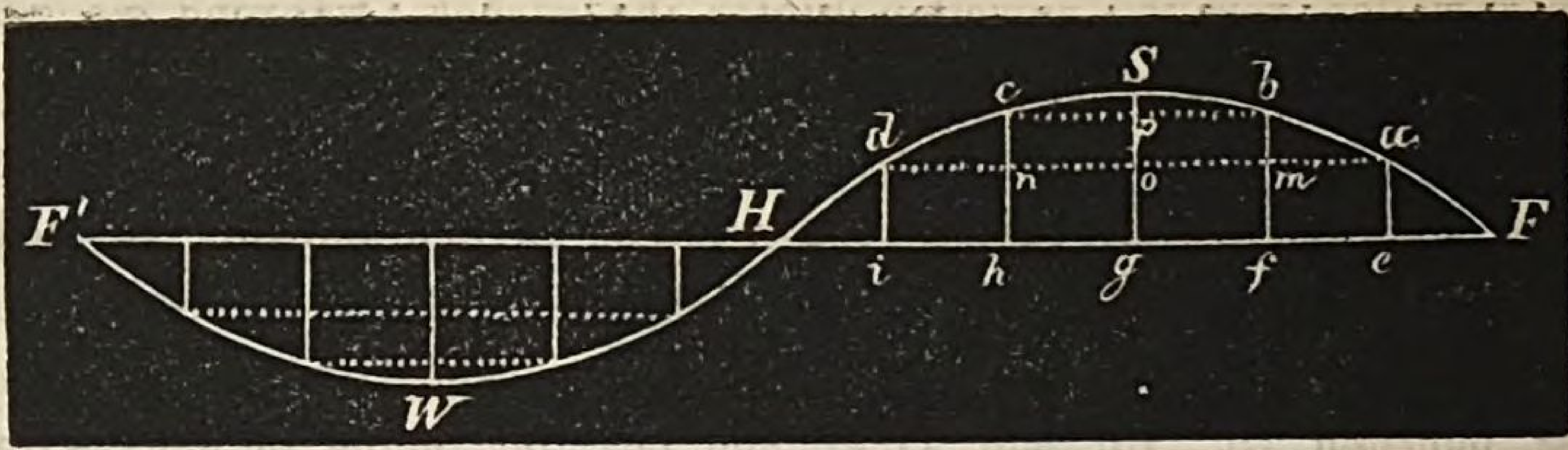
4 etc. Stunden entspricht daher ein Winkel von 2, 3, 4 ... mal 15°. Aus dem Winkel, den der durch den Frühlingspunkt gehende Declinationskreis mit dem Meridian eines Ortes macht, ist daher unmittelbar die Sternzeit dieses Ortes zu bestimmen, indem man die Zahl der Grade durch 15 dividirt. Man nennt aber auch wohl den Winkel selbst, den der durch den Frühlingspunkt gelegte Vertikalkreis mit dem Meridiane eines Ortes macht, die Sternzeit dieses Ortes. Wäre beispielsweise die Sternzeit eines Ortes gleich 166°, so würden diesem Winkel $^{166}/_{15} = 11$ Stdn. 4 Min. entsprechen. Es sind aber nicht die Sterne, sondern es ist die Sonne, welche die Beschäftigungen der Menschen regelt, indem sie durch Hervorbringung von Tag und Nacht die Thätigkeit derselben bestimmt. Darum wollen wir auch die Sonne als ein Mittel, die Zeit zu messen, einer näheren Betrachtung unterwerfen.

Die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Culminationen der Sonne heißt ein wahrer Sonnentag. Daß ein solcher wegen der fortschreitenden Bewegung der Erde länger ist als ein Sterntag, und zwar um die Zeit, welche die Sonne nöthig hat, um in ihrer täglichen Bewegung den Bogen zu durchlaufen, um welchen sie sich von einem Fixstern entfernt hat, haben wir bereits eingesehen.

3. **Ungleichheit der wahren Sonnentage.** Wegen der ungleichmäßigen Bewegung der Erde in ihrer elliptischen Bahn ist aber diese Entfernung eine ungleiche, und darum sind die wahren Sonnentage von ungleicher Länge. Eine ungleiche Größe eignet sich aber nicht zu einem Maße. Die wahren Sonnentage entsprechen daher nicht den Anforderungen, die an ein Maß gemacht werden müssen. Auch würden unsere Uhren, deren wichtigste und gewünschteste Eigenschaft ein gleichmäßiger Gang ist, mit der Sonne nicht gleichen Schritt halten können. Man mußte daher auf ein Auskunftsmittel sinnen, die in der Bewegung der wahren Sonne vorhandene Ungleichmäßigkeit auszugleichen, ohne von der wahren Zeit, wie sie eine richtig construirte Sonnenuhr anzeigt, bedeutend abzuweichen.

Wäre die Schwierigkeit nicht beseitigt, wenn man sich neben der wahren Sonne eine Sonne dächte, die in der Ekliptik sich gleichmäßig bewegte? Wir wollen sehen! Die Bewegung aller Fixsterne des Himmels geschieht in der Richtung des Aequators, und zwar so, daß in gleichen Zeiten vollkommen gleiche Bogen des Aequators oder eines Parallelkreises durch den Meridian gehen. Die Ekliptik liegt aber schief gegen den Aequator, und diese schiefe Lage bewirkt, daß gleich großen Bogen der Ekliptik nicht gleich große Bogen des Aequators entsprechen, wie dies aus der schon betrachteten *Fig. 58* zu ersehen ist. Die in der Nähe der Solstitialpunkte S und W gelegenen Theile der Ekliptik $FSHWF'$ laufen fast mit dem Aequator FHF' parallel, und wenn die Sonne an diesen Stellen der Ekliptik fortschreitet, so geschieht die Bewegung fast in der Richtung des Aequators, und darum ist dieselbe in Beziehung auf den Aequator rascher, als wenn die Sonne in der Nähe der Aequinoctialpunkte F und H sich befindet, da alsdann ein bedeutender Theil ihrer

Fig. 58.



fortschreitenden Bewegung wegen der schiefen Richtung zum Aequator zur Aenderung der Declination verwandt wird. So entsprechen den unter sich gleichen Bogen *Fa*, *ab*, *bS* u. s. w. der Ekliptik die Theile *Fe*, *ef*, *fg* u. s. w. des Aequators; diese letzteren sind ungleich, und zwar haben sie an Größe zugenommen. Somit würde also auch eine Sonne, die sich in der Ekliptik mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegte, noch kein passendes Maß für die Zeit abgeben können.

4. **Die mittlere Sonne und die mittlere Zeit.** Alle Schwierigkeiten fallen aber weg, wenn man eine Sonne annimmt, die sich in der Dauer des tropischen Jahres mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch den Aequator bewegt, und in der That hat man sich eine solche Sonne gedacht und sie die mittlere Sonne genannt. Man kann dieselbe natürlich nicht beobachten, aber durch eine sehr einfache Rechnung über ihre Bewegung und ihren Ort im Aequator zu jeder Zeit Rechenschaft geben. Da sie nämlich in dem tropischen Jahre oder in 365,24222 Tg. 360^0 zurücklegt, so beträgt die tägliche Aenderung ihrer Rectascension $\frac{360}{365,24222}{}^0 = 0^0,986472$; weiß man nun genau den Moment, in welchem sie in dem Frühlingspunkte stand, so erhält man durch einfache Multiplication der seit diesem Momente verflossenen Tage mit jener täglichen Aenderung die Rectascension der mittleren Sonne oder den Punkt des Aequators, in welchem sie steht. Hieraus läßt sich aber wieder leicht die Stellung der mittleren Sonne zum Meridian oder ihr Stundenwinkel bestimmen, aus welchem sich die Zeit unmittelbar in bekannter Weise ableiten läßt.

Die durch die mittlere Sonne durch Rechnung bestimmte Zeit nennt man die mittlere Zeit; ihrer bedient man sich gegenwärtig, wenigstens in allen größeren Städten Europas, im bürgerlichen Leben, und an manchen Oertern wie in Wien und Paris, ist die Veranstaltung getroffen, den mittleren Mittag durch ein besonderes Signal zu verkünden, um die Uhren danach reguliren zu können.

Man theilt den mittleren Sonnentag ebenfalls in 24 Stdn., die Stunde in 60 Min., und die Minute in 60 Sek.

5. **Abweichung der mittleren und wahren Zeit. Zeitgleichung.** Aus dem Obigen wird klar sein, daß die wahre Sonne nicht immer in demselben Augenblicke mit der mittleren culminiren, oder daß der wahre Mittag, wie ihn eine gute Sonnenuhr zeigt, nicht immer mit dem mittleren Mittag zu-

sammenfallen kann. Die wahre Sonne in der Ekliptik ist der mittleren in dem Aequator zuweilen voraus, zuweilen hinter ihr zurück, während sie zu andern Zeiten mit ihr in demselben Momente in dem Meridian steht.

Da durch direkte Beobachtungen oder auch aus sogenannten Sonnentafeln, in welchen die Astronomen den Ort der Sonne in der Ekliptik für jeden Tag des Jahres schon im voraus berechnet haben, die Länge der Sonne für jeden beliebigen Tag bestimmt werden kann, und es ferner durch trigonometrische Rechnung möglich ist, für den wirklichen Ort der Sonne in der Ekliptik den entsprechenden Ort in dem Aequator, d. h. den Durchschnittspunkt des durch die wahre Sonne gehenden Declinationskreises mit dem Aequator (ihre Rectascension) zu finden; so ist man auch in jedem Augenblicke im stande, die Stellung der wahren zur mittleren Sonne und danach das Verhältnis der wahren zur mittleren Zeit zu bestimmen.*)

Den Unterschied beider Zeiten nennt man die Zeitgleichung, und auch diese ist von den Astronomen für alle Tage des Jahres berechnet worden.

Die auf Seite 187 stehende Tabelle enthält die Zeitgleichung für das ganze Jahr von 5 zu 5 Tagen. Die darin angegebenen Minuten, bis auf $^1/_{10}$ Min. genau, geben diejenige Zeit an, welche man zu dem wahren Mittage, 12 Uhr, wie ihn die Sonnenuhr zeigt, zu- oder abzählen muß, um die mittlere Zeit im wahren Mittage zu erhalten. Die zuzuzählenden Zahlen sind durch +, die abzuzählenden durch — bezeichnet. Ganz genau gelten übrigens die Zahlen nur für die Jahre, die genau in der Mitte zwischen zwei Schaltjahren liegen; sie weichen jedoch für die übrigen Jahre nur um einige Sekunden ab.

*) Wir theilen auf der folgenden Seite eine Sonnentafel mit, in welcher der Sonnenort nach Rectascension und Declination für das Jahr 1855 von 8 zu 8 Tagen im Augenblicke des Mittags der Berliner Sternwarte verzeichnet ist.

Sonnentafel.

Tage.		Rectascension in Zeit.		Rectascension in Bogen.		Declination.	
		h	m	°	′	°	′
Januar	1	— 18	45,8	281	27	— D 23	2,5
»	9	19	21,0	290	15	22	9,2
»	17	19	55,5	298	52	20	48,3
»	25	20	29,4	307	21	19	2,1
Februar.	2	20	58,2	314	33	17	10,9
»	10	21	34,4	323	36	14	26,5
»	18	22	5,6	331	24	11	43,8
»	26	22	36,2	339	3	8	49,4
März	6	23	6,1	346	31	6	9,8
»	14	23	35,5	353	52	2	38,9
»	22	0	4,7	1	10	+ D 0	30,7
»	30	0	33,8	8	27	3	38,9
April	7	1	2,9	15	43	6	42,6
»	15	1	32,3	23	4	9	39,1
»	23	2	2,0	30	30	12	25,5
Mai	1	2	32,2	38	3	14	58,8
»	9	3	3,0	45	45	17	16,3
»	17	3	34,5	53	37	19	15,5
»	25	4	6,5	61	37	20	42,7
Juni.	2	4	39,0	69	45	22	9,2
»	10	5	11,9	77	58	23	0,0
»	18	5	45,1	86	16	23	2,5
»	26	6	18,4	94	36	23	23,5
Juli	4	6	51,5	102	52	22	55,9
»	12	7	24,3	111	4	22	2,7
»	20	7	56,7	119	10	20	45,2
»	28	8	28,4	127	6	19	5,5
August	5	8	59,5	134	52	17	5,6
»	13	9	30,0	142	30	14	48,0
»	21	9	59,9	149	58	12	15,2
»	29	10	29,3	157	19	9	30,0
September	6	10	58,3	164	34	6	35,2
»	14	11	27,1	171	46	3	33,3
»	22	11	55,8	178	57	0	27,3
»	30	12	24,6	186	9	— D 2	39,9
October	8	12	53,7	193	25	5	45,4
»	16	13	23,3	200	49	8	46,2
»	24	13	53,5	208	22	11	39,0
November	1	14	24,4	216	6	14	20,4
»	9	14	56,1	224	1	16	49,2
»	17	15	28,8	232	12	18	55,7
»	25	16	2,3	240	34	20	42,5
December.	3	16	36,7	249	10	22	4,7
»	11	17	11,7	257	55	22	59,7
»	19	17	47,1	266	46	23	25,6
»	27	18	22,6	275	39	23	27,5

Zeitgleichung.

	′		′		′
Januar 1	+ 3,8	Mai 6	— 3,6	September 3	— 0,7
» 6	6,1	» 11	3,9	» 8	2,3
» 11	8,2	» 16	3,9	» 13	4,0
» 16	10,0	» 21	3,8	» 18	5,8
» 21	11,6	» 26	3,4	» 23	7,6
» 26	12,8	» 31	2,8	» 28	9,3
» 31	13,7				
Februar 5	14,3	Juni 5	2,0	October 3	10,9
» 10	14,6	» 10	1,1	» 8	12,6
» 15	14,5	» 15	0,0	» 13	13,3
» 20	14,0	» 20	+ 1,0	» 18	14,7
» 25	13,4	» 25	2,1	» 23	15,5
März 2	12,4	» 30	3,1	» 28	16,1
März 7	11,3	Juli 5	4,1	November 2	16,2
» 12	10,0	» 10	4,9	» 7	16,2
» 17	8,6	» 15	5,5	» 12	15,7
» 22	7,1	» 20	5,9	» 17	14,9
» 27	5,6	» 25	6,1	» 22	13,7
April 1	4,0	» 30	6,1	» 27	12,2
April 6	2,5	August 4	5,8	December 2	10,4
» 11	1,1	» 9	5,2	» 7	8,4
» 16	— 0,2	» 14	4,5	» 12	6,1
» 21	1,3	» 19	3,4	» 17	3,7
» 26	2,3	» 24	2,2	» 22	1,2
Mai 1	3,1	» 29	0,8	» 27	+ 1,2
				» 32	3,7

Die Betrachtung dieser »*Littrow's* Wunder des Himmels« entlehnten Tabelle lehrt, daß die Zeitgleichung zu zwei Zeiten im Jahre positiv (+) und zu zwei andern Zeiten negativ (—) ist, oder daß die mittlere Sonne zweimal im Jahre in Beziehung auf den Meridian oder in der Richtung der täglichen Bewegung (hinsichtlich der jährlichen Bewegung findet das Gegentheil statt) der wahren Sonne voran ist und früher als diese culminirt, zweimal dagegen hinter ihr zurück ist, und daß sie viermal im Jahre mit ihr in demselben Momente culminirt, in welchem Falle die Zeitgleichung gleich 0 ist. Dies ist der Fall am 15. April, 15. Juni, 1. September und 25. December.

Viermal im Jahre erreicht ferner die Zeitgleichung ein Maximum, und zwar ist dieses Maximum zweimal positiv und zweimal negativ. Das erste (größte) positive Maximum hat statt am 11. Februar, wo es 14,6 Minuten, also fast $^1/_4$ Std., das zweite (kleinere) Ende Juli, wo es 6,1 Min. beträgt. Das erste (größte) negative Maximum hat am Anfange des November statt, wo es 16,2 Minuten, das zweite (kleinere) gegen die Mitte Mai, wo es nur 3,9 Min. Werth hat. Wollte man also am 11. Februar seine Uhr nach einer Sonnenuhr stellen, so müßte die Uhr im wahren Mittage 12 Uhr 14,6 Min., am Ende Juli aber 12 Uhr 6,1 Min. zeigen. Am Anfange des November dagegen müßte die Uhr im wahren Mittage auf 12 Uhr — 16,2 Min., d. i. auf 11 Uhr 43,8 Min., gegen die Mitte Mai auf 12 Uhr — 3,9 Min., d. i. auf 11 Uhr 56,1 Min. gestellt werden.

6. **Veranschaulichung der Zeitgleichung.** Da eine so entworfene Tabelle nicht leicht behaltlich, der Gegenstand aber interessant ist, so möge hier noch die Erläuterung einer von mir construirten graphischen Darstellung, *Fig. 59.*, durch welche die Sache behaltlicher werden dürfte, eine Stelle finden.

Es stelle die mittlere von oben nach unten gehende gerade Linie denjenigen Theil des Meridians vor, der zwischen den beiden Wendekreisen liegt, und der demnach eine Länge von 47° hat. In ihm bewegt sich die wahre Sonne innerhalb eines Jahres des Mittags einmal hinauf und hinab, so daß sie sich in jedem Punkte desselben zweimal im Jahre befindet. Die Punkte des Meridians, welche die wahre Sonne von 5 zu 5 Tagen beim Hinaufsteigen im Winter und Frühling, sowie beim Herabsteigen im Sommer und Herbst einnimmt, sind durch die Durchschnittspunkte der gezogenen Querlinien mit dem Meridian angegeben. (Das Hinauf- und Herabsteigen sind als gleichmäßig erfolgend angenommen worden.)

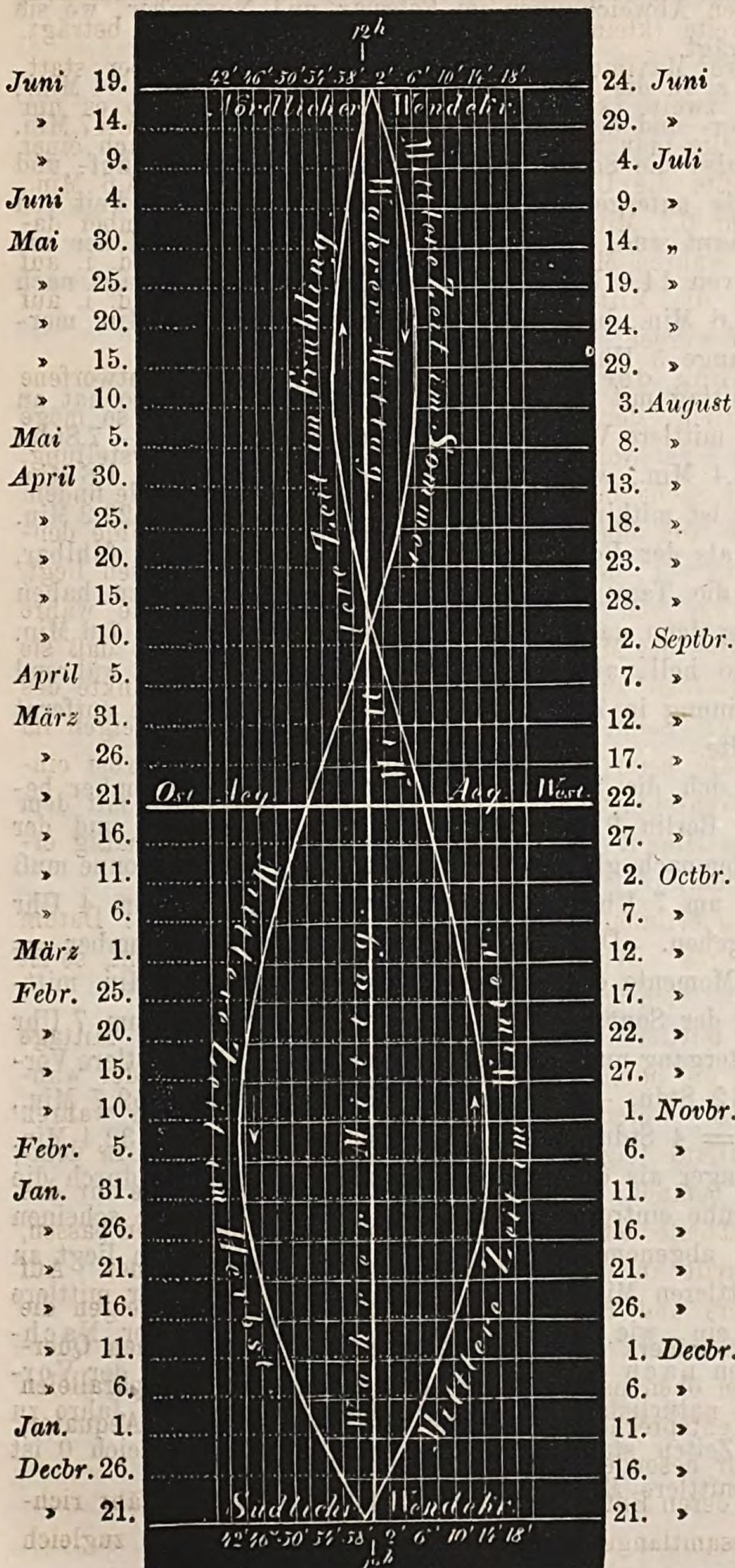
An den Enden der Querlinien steht zugleich das entsprechende Datum durch alle Monate des Jahres. Wenn die Sonne in dem Meridian steht, so ist w a h r e r M i t t a g, und eine richtige Sonnenuhr zeigt 12 Uhr.

Die Abweichung der mittleren von der wahren Zeit im wahren Mittage oder die Stellung, welche die mittlere Sonne im wahren Mittage zu der wahren Sonne einnehmen würde, wofern sie, was nicht der Fall ist, der wahren Sonne beim Hinauf- und Herabsteigen im Meridian folgte und mit ihr in demselben Parallelkreise sich befände; zeigt die einer 8 gleichende Curve für das ganze Jahr an. Welche Theile der Curve für die einzelnen Jahreszeiten passen, ist unmittelbar durch Schrift an den entsprechenden Stellen bezeichnet. Auf die den Tagen des Winters und Frühlings entsprechenden Punkte zeigen die punktirten, auf die des Sommers und Herbstes die ganz ausgezogenen Querstriche hin. Durch die von oben nach unten gehenden, dem Meridian parallelen Striche ist es leicht, den entsprechenden Ort der mittleren Sonne im Aequator, der in der Mitte der Figur besonders angedeutet worden, zu finden.

Jene langen Striche, deren Entfernung von einander $^1/_2$° in ungefähr richtigem Verhältnis zur Gesamtlänge des Meridians darstellt, geben zugleich

Zeitgleichung für alle Tage des Jahres.

Fig. 59.



die Abweichung unserer Uhren von einer Sonnenuhr im wahren Mittage an, indem jeder Zwischenraum 2 Minuten Zeit entspricht. Die rechts von dem Meridian oben und unten stehenden Ziffern geben an, wieviel Minuten über 12 Uhr, und die links von dem Meridian befindlichen Ziffern, wieviel Minuten über 11 Uhr unsere Uhr im wahren Mittage zeigen muß.

Am meisten wird die Zeichnung zur Veranschaulichung der Sache beitragen, wenn man sich dieselbe nach S. gehalten denkt, damit die den Meridian vorstellende Linie wirklich in die Lage des Meridians kommt.

7. Erscheinungen, die in der Abweichung der mittleren von der wahren Zeit ihre Erklärung finden. Wenn im allgemeinen die Abweichung der mittleren von der wahren Zeit oder der Gang unserer Uhren von dem Stande der Sonne auch nicht sehr bedeutend ist, so ist sie doch beträchtlich genug, um selbst im bürgerlichen Leben bemerkt zu werden; denn wenn auch

die Abweichung von 3,9 und 6,1 Min. im Mai resp. Juli ohne große Aufmerksamkeit von unserer Seite unbemerkt vorübergeht, so ist dies doch nicht der Fall mit den weit größeren Abweichungen im Februar und November, wo sie 14,6 resp. 16,2 Min. beträgt.

Am 11. Februar ist z. B. die Tageslänge in Berlin gleich 9 Stdn. 34 Min.; mithin sind der wahre Vor- und der wahre Nachmittag je gleich 4 Stdn. 47 Min. Nach wahrer Zeit muß also die Sonne um 7 Uhr 13 Min. morgens auf- und um 4 Uhr 47 Min. abends untergehen, d. h. zu Zeiten, die gleich weit von dem wahren Mittage entfernt sind. Nun ist aber am 11. Februar bei der angegebenen Zeitgleichung von 14,6 Min. im Momente des wahren Mittags nach mittlerer Zeit 12 Uhr 14,6 Min., beim Sonnenaufgange 7 Uhr 27,6 Min. morgens, beim Sonnenuntergange 5 Uhr 1,6 Min. abends.

Da wir unsern Vormittag mit 12 Uhr mittlerer Zeit schließen, so hat an dem genannten Tage der mittlere Vormittag eine Dauer von 12 Stdn. — 7 Stdn. 27,6 Min. = 4 Stdn. 32,4 Min., während die des Nachmittags 5 Stdn. 1,6 Min. beträgt. Der Nachmittag ist mithin nach unserer Rechnung um 29,2 Min. oder fast 1/2 Std. länger als der Vormittag. Es macht sich dies uns fühlbar, indem uns im Februar die Tage des Abends mehr zugenommen zu haben scheinen als des Morgens; denn nach obiger Rechnung ist es 5 Stdn. 1,6 Min. nach Mittag noch ebenso hell, als 4 Stdn. 32,4 Min. vor Mittag, während es doch nach unserer Meinung in Zeiten, die gleich weit vom Mittage entfernt sind, gleich hell sein sollte.

Umgekehrt verhält sich die Sache im November. Am 2. November beträgt die Tageslänge in Berlin 9 Stdn. 27 Min. Der wahre Vor- und der wahre Nachmittag sind demnach gleich 4 Stdn. 43,5 Min., und die Sonne muß daher nach wahrer Zeit um 7 Uhr 16,5 Min. morgens auf- und um 4 Uhr 43,5 Min. abends untergehen. Da die Zeitgleichung am 2. November = 16,2 Min. ist, so ist im Momente des wahren Mittags 11 Uhr 43,8 Min. mittlerer Zeit. Der Aufgang der Sonne erfolgt also nach mittlerer Zeit um 7 Uhr 0,3 Min. morgens, der Untergang um 4 Uhr 27,3 Min. abends. Der mittlere Vormittag ist demnach = 12 Stdn. — 7 Stdn. 0,3 Min. = 4 Stdn. 59,7 Min., der mittlere Nachmittag = 4 Stdn. 27,3 Min.; es ist also jener um 32,4 Min. oder mehr als 1/2 Std. länger als dieser. Es wird uns dies auffällig durch die in den Novembertagen frühe eintretende Dunkelheit; die Nachmittage scheinen mehr als die Vormittage abgenommen zu haben. Die Schuld daran liegt an der Verschiebung des mittleren Mittags gegen den wahren. Tritt der mittlere Mittag vor dem wahren ein, wie im Februar, so wird dadurch der Nachmittag, tritt er hingegen nach dem wahren ein, wie im November, der Vormittag verlängert. Die natürlichen Verhältnisse haben viermal im Jahre zu den bereits bezeichneten Zeiten statt, in denen die Zeitgleichung gleich 0 ist und der wahre und der mittlere Mittag zusammenfallen.

8. **Vergleichung der mittleren Sonnenzeit mit der Sternzeit.** Die Revolution der wahren und auch der mittleren Sonne erfolgt in 365,24222 Tg. mittlerer Zeit. In dieser Zeit ändert die mittlere Sonne ihre Rectascension um volle 360°; es beträgt darum die tägliche Aenderung derselben $\frac{360}{365{,}24222}{}^{0} = 0^{0}{,}9856472$. Um diese Größe entfernt sich also die mittlere Sonne täglich mehr vom Frühlingspunkte. Es macht aber diese Größe in Zeit verwandelt $\frac{0{,}9856472}{15} = 0{,}0657098$ Stdn. = 0 Stdn. 3 Min. 56,555 Sek. = 0,0027379 Tg. Sternzeit. Um diese Zeit verspätet sich also die mittlere Sonne täglich in Beziehung auf einen Fixstern oder den Frühlingspunkt. Ein mittlerer Sonnentag ist daher um 0,0027379 eines Sterntages länger als 1 Sterntag, oder er ist gleich 1,0027379 Sterntagen. Hieraus folgt, daß ein Sterntag = $\frac{1}{1{,}0027379}$ = 0,9972696 mittleren Sonnentagen, d. i. = 23 Stdn. 56 Min. 4,0934460 Sek. mittlerer Zeit ist.

Stellen wir das Gesagte zusammen, indem wir es zum Theil mit andern Worten ausdrücken, so haben wir:

1) Ein mittlerer Sonnentag ist 3 Min. 56,555 Sek. Sternzeit länger als ein Sterntag, oder er hat 24 Stdn. 3 Min. 56,555 Sek. Sternzeit.
2) Ein Sterntag ist um 3 Min. 55,9065540 Sek. mittlerer Zeit kürzer als ein mittlerer Sonnentag, oder er hat 23 Stdn. 56 Min. 4,0934460 Sek. mittlerer Zeit. Dies ist also die Zeit, in welcher sich die Erde um die Achse dreht.

Hieraus folgt ferner:

3) Es sind 365,24222 mittlere Sonnentage = 366,24222 Sterntagen.

Ist die Größe des Sonnen- und Sterntages bekannt, so ist es auch leicht, das Verhältnis der Stunden der mittleren und der Sternzeit zu finden.

Ein mittlerer Sonnentag ist um 3 Min. 56,555 Sek. Sternzeit länger als ein Sterntag; folglich ist 1 Stunde mittlerer Zeit um $\frac{3 \text{ Min. } 56{,}555}{24}$ Sek. = 0,856481 Sek. Sternzeit länger als 1 Std. Sternzeit.

Ein Sterntag ist um 3 Min. 55,9065540 Sek. mittlerer Zeit kürzer als ein mittlerer Sonnentag; folglich ist 1 Std. Sternzeit um $\frac{3 \text{ Min. } 55{,}9065540}{24}$ Sek. = 9,829439 Sek. mittlerer Zeit kürzer als 1 Std. mittlerer Zeit.

Vermittelst dieser Zahlen ist es nicht schwer, Sternzeit in mittlere Sonnenzeit und umgekehrt diese in jene zu verwandeln. Im ersteren Falle zieht man von jeder Stunde 9,829439 Sek. ab, im letzteren Falle zählt man zu jeder Stunde 9,856481 Sek. zu.

VII. Das Wichtigste von der Zeitrechnung und dem Kalender.

Von allen Völkern der Erde mußte schon früh das Bedürfnis empfunden werden, in dem gleichmäßig dahinfließenden Strome der Zeit kleinere und größere Abschnitte zu unterscheiden, um so eine Richtschnur für die Beschäftigungen des täglichen Lebens zu erhalten. Zu einer solchen Unterscheidung gaben besonders Erscheinungen am Himmel, Beobachtungen an Sonne, Mond

und Sternen, besonders an den beiden ersteren, Veranlassung, und diese wurden mit geringerer oder größerer Schärfe zur Aufstellung eines sogenannten Kalenders benutzt, der bei rohen Naturvölkern von Geschlecht zu Geschlecht durch Tradition überliefert, von gebildeten Völkern aber in ein mehr oder weniger vollkommenes System gebracht und fixirt wurde. Es ist interessant, die Kalender-Einrichtungen verschiedener Völker mit einander zu vergleichen und zu sehen, auf welche Weise und in welchem Grade es gelungen ist, die schwierige Aufgabe der Zeiteintheilung zu lösen. Für die Zwecke dieses Buches halten wir es aber für geboten, uns im allgemeinen auf die christliche Zeiteintheilung und den christlichen Kalender zu beschränken und die anderer Völker nur in soweit zu erwähnen, als sie die Grundlage des letzteren Kalenders gewesen sind.

Das Wort Kalender kommt von dem lateinischen Worte *Calendae* her, mit welchem Namen die alten Römer den ersten Tag jeden Monats zu bezeichnen pflegten; dieses Wort kommt aber eigentlich von dem griechischen Worte καλέω her, welches so viel als »ich rufe aus« bedeutet.

Den römischen Priestern lag nämlich die Pflicht ob, den Tag des eingetretenen Neumondes, mit welchem ein neuer Monat begann, auf öffentlichen Plätzen auszurufen. So sehen wir schon früh die Diener der Religion an dem Kalender interessirt, und noch heute steht er, wenigstens zum Theil, mit derselben in innigem Zusammenhange. Er enthält gewöhnlich zweierlei Angaben, astronomische und kirchliche, und zerfällt darum in den astronomischen und in den kirchlichen Kalender, die aber meist in einander verarbeitet sind. Den für das Volk berechneten Kalendern pflegt noch ein sogenannter Witterungskalender beigegeben zu sein, obwohl man von seiner Unzuverlässigkeit überzeugt ist.

I. Der astronomische Kalender.

Der astronomische Kalender enthält zunächst die 365 oder 366 Tage des Jahres mit dem entsprechenden Datum, nach dem verbesserten und dem alten Kalender, die Tage nach den 12 Monaten und innerhalb derselben nach Wochen zusammengestellt. Jedem Tage pflegt ein meist aus der katholischen Kirche stammender Name und zugleich das himmlische Zeichen beigefügt zu sein, in welchem der Mond an dem betreffenden Tage steht. In einer besondern Rubrik sind die wichtigsten Himmelserscheinungen vermerkt, die während des Jahres an dem Monde, der Sonne und den Planeten beobachtet werden können, und zwar nach den 12 Monaten geordnet. Wer die kurzen Angaben verstehen will, muß sich die Bedeutung der dabei angewendeten, vorn im Kalender erklärten Zeichen merken. In den meisten Kalendern pflegen ferner auch die im Jahre eintretenden Finsternisse, die Zeit des täglichen Auf- und Unterganges der Sonne und des Mondes, der Anfang der Jahreszeiten, sowie eine Tafel der Zeitgleichung zum Stellen der Uhr angegeben zu sein.

Der Umfang dieser astronomischen Angaben ist übrigens nach der Größe und dem Zweck des Kalenders verschieden.

Reden wir zunächst kurz von den gewöhnlichen Zeitabschnitten: Tag, Woche, Monat und Jahr.

1. **Der Tag.** Als ein durch die Natur gegebener Zeitabschnitt erscheint der Tag. Da er auf der Rotation der Erde beruht, so bildet eigentlich diese die Grundlage unserer Zeitrechnung. Wir haben früher bereits Stern- und Sonnentage, und bei diesen wahre und mittlere unterschieden, auch das Verhältnis derselben zu einander schon auseinandergesetzt. Außerdem unterscheidet man noch a) den bürgerlichen Tag; er ist hinsichtlich seiner Dauer ein mittlerer Sonnentag, beginnt um Mitternacht, währt bis zur nächst folgenden Mitternacht und zählt von Mitternacht bis Mittag 12 Std., und von Mittag bis Mitternacht abermals 12 Std. Er zerfällt in den Tag i. e. S. oder den natürlichen Tag und in die Nacht. Der erstere beginnt mit dem Sonnenaufgang und währt bis zum Sonnenuntergang; die letztere wird vom Sonnenuntergang bis zum nächsten Sonnenaufgang gezählt.

Vom bürgerlichen Tag wird b) der astronomische Tag unterschieden. Seiner Dauer nach ist er ebenfalls ein mittlerer Sonnentag, beginnt mit der Culmination der mittleren Sonne um 12 Uhr mittlerer Zeit und währt bis zum nächst folgenden Mittag 12 Uhr; er wird aber von 0 Uhr bis 24 Uhr gezählt. Der astronomische Nachmittag stimmt in der Bezeichnung der Stunden und im Datum mit dem bürgerlichen Tage überein; mit Mitternacht 12 Uhr beginnt aber eine Abweichung, da statt 1, 2, 3 etc. Uhr früh der astronomische Tag 13, 14, 15 etc. Uhr zählt, und das Datum des vorhergehenden bürgerlichen Tages noch bis 24 Uhr (das ist bürgerlich 12 Uhr Mittag) fortführt. Auch der Sterntag wird wohl ein astronomischer Tag genannt und vom Momente der oberen Culmination eines Fixsternes bis zur nächsten oberen ebenfalls von 0 bis 24 Uhr gezählt.

2. **Die Woche.** Es mußte schon früh das Bedürfnis empfunden werden, eine bestimmte Menge von Tagen zu einem größeren Zeitabschnitte zusammenzufassen, und es ist eine merkwürdige Thatsache, daß so viele Völker eine Reihe von 7 Tagen dazu benutzt haben; am frühsten scheint es bei den semitischen Völkern geschehen zu sein. Wahrscheinlich ist es der Mond gewesen, der hierzu Veranlassung gegeben hat, indem derselbe bekanntlich etwa 7 Tage gebraucht, um von einer Phase zur andern zu gelangen; nach Andern sollen die 7 Schöpfungstage der Bibel dafür maßgebend gewesen sein.

Einen Zeitabschnitt von 7 Tagen nennen wir eine Woche und rechnen den Sonntag als Anfang derselben, während die Juden mit Sonnabend Abend bei Sonnenuntergang, die Türken mit Freitag bei Sonnenuntergang, weil die Schöpfung des Menschen, nach Andern die Flucht Muhameds an einem Freitage geschah, die Woche beginnen.

Was unsere Namen der Wochentage betrifft, so sind sie noch Ueberreste der Astrologie (Sterndeutekunst) und nach den Planeten Saturn, Jupiter,

Mars, Sonne (?), Venus, Merkur und Mond benannt, die nach der Meinung der Chaldäer und Aegypter die Erde in der genannten Reihenfolge umkreiseten und nach einander die einzelnen Stunden des Tages durch ihren Einfluß beherrschten. Nach dem die erste Stunde des Tages beherrschenden Planeten erhielt der Tag den Namen.

Bei den Aegyptern war unser Sonnabend der erste Tag der Woche. Die erste Stunde dieses Tages beherrschte Saturn, weshalb der Sonnabend Saturnstag hieß. Zählt man nun in der angegebenen Reihe der Planeten die 24 Stunden durch, so findet man, daß Saturn auch die 8te, 15te, 22ste, Jupiter die 23ste, Mars die 24ste und die Sonne die 25ste Stunde oder die 1ste Stunde des neuen Tages beherrschte. Dieser hieß deshalb Sonntag. Setzt man die Rechnung fort, so findet man für die 1ste Stunde des Dienstags Mars, für die des Mittwochs Merkur, des Donnerstags Jupiter, des Freitags Venus herrschend. Hiernach sind die Namen der Wochentage bei den alten Römern, welche ihre Zeitrechnung aus Aegypten erhielten, leicht verständlich; so war: Sonntag = *dies Solis*, Tag der Sonne, Montag = *dies Lunae*, Tag des Mondes, Dienstag = *dies Martis*, Tag des Mars, Mittwoch = *dies Mercurii*, Tag des Merkur, Donnerstag = *dies Jovis*, Tag Jupiters, Freitag = *dies Veneris*, Tag der Venus. Unsere jetzigen deutschen Namen weichen von diesen alten etwas ab, namentlich Dienstag, nach dem Kriegsgotte Ziu, Donnerstag, nach dem Donnergotte Thor, Freitag, nach der Göttin Freia, der sächsischen Venus, benannt.*)

3. **Der Monat.** Nach der Woche bilden die Monate (Monde) den nächst größeren Zeitabschnitt. Schon der Name deutet an, daß der Mond Veranlassung zu seiner Unterscheidung gegeben hat. Im Alterthum verstand man darunter die Zeit von einem Neumonde bis zum folgenden, d. i. eine Zeit von $29\frac{1}{2}$ Tg., gab ihm aber in der Zeitrechnung bald 29, bald 30 Tage, um jeden Monat mit einem vollen Tage beginnen zu können. Zwölf solcher Monate nannte man (namentlich die Araber) ein Mondjahr, welches demnach eine Dauer von $12 \times 29\frac{1}{2}$ Tg. = 354 Tg. hatte. Nach solchen Mondjahren rechnen gegenwärtig noch streng die Türken, welche ihre ganze Zeitrechnung ausschließlich auf den Mond gegründet haben. Sie führen auch den Mond (Halbmond) als Feldzeichen und setzen ihn auf ihre Moscheen. Für die Rechnungen des bürgerlichen Lebens hat der jetzige Sultan die Einführung des Julianischen Kalenders befohlen. Die oben angegebene Dauer des Monats von $29\frac{1}{2}$ Tag ist die des synodischen Monats; die Namen anderer Monate, zu deren Unterscheidung der Mondlauf Veranlassung giebt, sind bei der Betrachtung der Bewegungen dieses Körpers angegeben worden.

Was die Namen der Monate betrifft, so suchte *Karl d. Gr.* deutsche Namen einzuführen, die aber nicht allgemein in Gebrauch gekommen sind; sie

*) Da unser Jahr 52 Wochen und 1 oder 2 Tage hat, so verschiebt sich der Wochentag jedes Datums jährlich um ebenso viel Tage. Nach 28 Tagen fällt also ein bestimmtes Datum wieder auf denselben Tag.

heißen: Wintermonat, Hornung (Hor=Koth), Lenzmonat, Ostermonat, Wonnemonat, Brachmonat, Heumonat, Erntemonat, Herbstmonat, Weinmonat, Windmonat, Heilmonat.

Unsere jetzt ziemlich allgemein gebräuchlichen Monatsnamen sind römischen Ursprungs; sie heißen: Januar (nach Janus, dem Gott der Zeit, verdeutscht Jänner), Februar (von *februare*, reinigen, *februalia*, das Reinigungsfest der Römer, in diesem Monat gefeiert), März (vom Kriegsgotte Mars), April (von *aperire*, öffnen [der Blüten]), Mai (von der Göttin Maja), Juni (von Juno oder Junius), Juli (von Julius Cæsar, früher *Quintilis*, d. i. der fünfte), August (vom Kaiser Augustus, früher *Sextilis*, d. i. der sechste), September (d. i. der siebente), October (d. i. der achte), November (d. i. der neunte), December (d. i. der zehnte). Man sieht hieraus, daß die letzten Namen für unsere Zeitrechnung nicht passen; denn als die Christen ihr Jahr mit dem Weihnachtsfeste begannen und Januar der erste Monat des Jahres ward, wurde der September der neunte Monat u. s. w. Uebrigens haben sich unsere Monate vom Mondlaufe entfernt, da sie theils 30, theils 31 Tage haben, mit Ausnahme des Februars, der abwechselnd 28 oder 29 Tage zählt.

4. **Das Jahr.** Da unsere Jahre Sonnenjahre von 365 Tagen sind, so rückt der türkische Neujahrstag (der erste Moharrem) gegen unsern Kalender alljährlich um c. 11 Tage vor; während bei uns Neujahr stets in den Winter fällt, durchschreitet es bei den Türken in etwa 33 Jahren allmählich rückwärts alle unsere Monate und Jahreszeiten, und obgleich die Türken ihre Zeitrechnung 622 Jahre nach der unsrigen, mit dem 16. Juli des Jahres 622 n. Chr., mit der Flucht (Hedschra) Muhameds beginnen, so werden sie uns doch endlich einholen und dann überflügeln. Da indessen ein synodischer Monat nicht genau gleich $29\frac{1}{2}$ Tg., sondern = 29 Tg. 12 Stdn. 44 Min. 2,9 Sek. ist, so rechnete man das Mondjahr zu kurz. Um nun aber mit dem Mondlaufe in Uebereinstimmung zu bleiben, nahm man in einem Cyclus von 30 Jahren 19 Jahre als gemeine zu 354, und 11 als Schaltjahre zu 355 Tagen an. Diese Mondjahre nennt man freie Mondjahre.

Auch die Juden und die alten Griechen rechneten nach Mondjahren, die Juden noch heute, führten aber das gebundene Mondjahr ein, um auch mit der Sonne in Uebereinstimmung zu bleiben. Da, wie wir noch sehen werden, 235 Mondmonate ziemlich genau gleich 19 Sonnenjahren sind, so rechnete man in einem Cyclus von 19 Jahren 12 Jahre zu je 12, und 7 Jahre zu je 13 Monaten.

Die alten Aegypter rechneten nach Sonnenjahren und bestimmten die Dauer derselben nach dem Frühaufgange (dem helischen Aufgange) der Sothis oder des Sirius, d. h. die Zeit, nach welcher dieser helle Stern wieder zum erstenmale vor Sonnenaufgang am Morgenhimmel gesehen werden konnte, anfangs zu 360, seit dem Jahre 1872 v. Chr. aber zu 365 Tagen. Sie rechneten nun 12 Monate zu 30 Tagen und hängten an den 12. Monat 5 Ergänzungstage (Epagomenen).

Von den Aegyptern nahmen später die **Römer** die Zeitrechnung mit allen ihren Fehlern an. Nach der Sage soll Romulus ein Jahr von 10 Monaten, wahrscheinlich zu je 36 Tagen, angenommen haben, aus denen *Numa Pompilius* 12 Monate von je 29 und 31 Tagen machte, so daß er jenen 10 Monaten 2 neue, den Januar und Februar, hinzufügte.

Der Anfang des christlichen Jahres wurde zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden angesetzt, bald mit dem 25. März, dem Tage der Verkündigung Mariae, bald mit dem 25. December, dem vermuthlichen Tage der Geburt Christi (welches letztere Datum aber, da der wahre Geburtstag Christi nicht bekannt ist, von den römischen Saturnalien hergenommen war), bald mit dem 1. Januar, dem Feste der Beschneidung und Namengebung Christi. *Melanchthon* schrieb noch i. J. 1559 am 25. December die neue Jahreszahl 1560. Erst später ist der 1. Januar allgemein als christlicher Neujahrstag angenommen worden. Die verschiedenen Arten der Jahre, zu denen der scheinbare Sonnenlauf Veranlassung giebt, sind in dem von der Zeit handelnden Abschnitte genannt worden. Das Jahr der bürgerlichen Zeitrechnung ist das tropische, welches in der Mitte dieses Jahrhunderts eine Dauer von 365 Tg. 5 Std. 48 Min. 47,8 Sek. hat.

5. **Julius Cæsars Kalender-Verbesserung.** Das größte Verdienst um die Zeitrechnung erwarb sich bei den Römern *Julius Cæsar* etwa 50 v. Chr., der in die mit dem Sonnenstande ganz in Unordnung gerathene Zeitrechnung mit Hilfe der Sternkundigen *Sosigenes* aus Alexandrien und des Römers *Flavius* endlich Ordnung brachte.

Zu dem Ende wurden dem schon mit Schalttagen versehen gewesenen Jahre 708 nach der Erbauung Roms, d. i. dem Jahre 46 v. Chr., noch 2 Schaltmonate von 67 Tagen hinzugefügt, so daß dieses Jahr nicht weniger als 445 Tg. erhielt. Es fiel nun der 1. Januar wieder, wie es nach dem Sonnenstande sein mußte, in den Winter um die Zeit des kürzesten Tages und zugleich mit einem Neumonde zusammen. Damit aber für die Folge jeder Unordnung vorgebeugt werden möchte, nahm *Cæsar* auf den Rath der genannten Sternkundigen das Jahr zu 365 Tg. 6 Stdn. an, welche Zeit man das Julianische Jahr nennt, und bestimmte, daß man 3 auf einander folgende Jahre zu 365 Tg., das darauf folgende 4. Jahr aber als ein Schaltjahr zu 366 Tagen rechnen solle, damit auf diese Weise durch Einschaltung eines Tages die in 4 Jahren zu 4×6 Stdn. $= 24$ Stdn. angewachsene Differenz wieder ausgeglichen würde, und die Zeitrechnung mit der Sonne in Uebereinstimmung bliebe. Als Schalttag aber wurde stets, wie es seither geschehen, der 24. Februar angesehen.

Somit schien die Sache für alle Zeiten geregelt, und nach einigen Unregelmäßigkeiten, die durch die Schuld der den Anfang des Jahres ausrufenden Priester entstanden waren, indem sie bereits alle 3 Jahre einen Tag einschalteten, blieb seit dem Jahre 8 n. Chr., nachdem der Kaiser Augustus die entstandene Unordnung wieder ausgeglichen, der Julianische Kalender, wie man die neue Zeitrechnung zu nennen pflegte, in ungestörtem Gebrauch.

6. **Gregors Kalender-Verbesserung.** Allein die Annahme *Julius Cæsars*, daß das Jahr eine Dauer von 365 Tg. 6 Stdn. habe, war nicht richtig, indem das tropische Jahr gegenwärtig zu 365 Tg. 5 Stdn. 48 Min. 47,8 Sek. berechnet worden ist. Indem nun alle 4 Jahre ein ganzer Tag eingeschaltet wurde, aber 5 Std. 48 Min. 47,8 Sek., 4mal genommen, nur 23 Stdn. 15 Min. 11,2 Sek. ausmachen, schaltete man alle vier Jahre 44 Min. 48,8 Sek. oder fast 3/4 Std. zu viel ein, und dies betrug in 400 Jahren bereits 74 Stdn. 41 Min. 20 Sek., d. h. über 3 Tage. Mit je 400 Jahren blieb man also 3 Tg. 2 Stdn. 41 Min. 20 Sek. hinter dem wahren Stande der Sonne zurück, und im Laufe der Zeit mußte dies immer bedeutender werden. In der That wurde dieser Uebelstand am Ende des 14. Jahrhunderts mehrfach erkannt und empfunden, und bei dem Papste auf Verbesserung des Julianischen Kalenders gedrungen.

Die Sache kam auf verschiedenen Concilien zur Sprache; allein die Ausführung der Verbesserung schien mit unübersteiglichen Schwierigkeiten verbunden, bis endlich der Papst *Gregor XIII.*, von dem Tridentiner Concil dazu aufgefordert, so glücklich war, sie im Jahre 1582 zu überwinden. Um nicht weniger als 10 Tage war man bereits hinter der Sonne zurückgeblieben, so daß das Frühlings-Aequinoctium, anstatt auf den 21. März zu fallen, nach dem Kalender bereits am 11. März eintrat. Damit es wieder auf den 21. März gebracht werde, befahl *Gregor* in einer vom 24. Februar 1582 datirten Bulle, in dem Monate October des genannten Jahres 10 Tage ganz wegzulassen, und nach dem 4. gleich den 15. October zu schreiben.

Allein wenn nun auch der bisherige Uebelstand beseitigt war, so war damit doch noch nicht endgiltig geholfen. Wenn man nämlich fortfuhr, nach je 4 Jahren einen Tag einzuschalten, so war nach etwa 129 Jahren wieder eine Differenz von einem Tage, nach je 400 Jahren von mehr als 3 Tagen vorhanden. Um dies zu verhindern, setzte Gregor zugleich in jener Bulle fest, im Laufe von 4 Jahrhunderten 3 Schalttage ausfallen zu lassen, und zwar sollten diejenigen Säcularjahre, deren Anzahl der Hunderte nicht durch 4 ohne Rest theilbar sei, keine Schaltjahre sein, obgleich sie 4. Jahre waren. So war nach *Gregor* das Jahr 1600 ein Schaltjahr, nicht aber 1700 und 1800, und ebensowenig wird es 1900, wohl aber wieder 2000 sein u. s. w.

Indem man aber so verfahren ist und ferner verfahren wird, bleibt man doch nicht genau in Uebereinstimmung mit der Sonne. Denn wenn man auch alle 400 Jahre 3 Schalttage ausfallen läßt, so ist dies doch nicht genug, da 3 Tg. 2 Stdn. 41 Min. 20 Sek. ausgelassen werden müssen. Man wird also bei dem angegebenen Verfahren bei der Einschaltung alle 400 Jahre um 2 Stdn. 41 Min. 20 Sek. gegen den wahren Stand der Sonne zurückbleiben, und dies wird in 3570 Jahren wieder einen ganzen Tag betragen. Zur Ausgleichung der Differenz würde man in je 3570 Jahren oder vielleicht alle 3600 Jahre abermals einen Schalttag ausfallen lassen müssen.

Allein ehe man zur Ausgleichung dieser Differenz schreitet, ist noch manches zu erwägen. Jene oben angegebene Dauer des tropischen Jahres galt nur für die Mitte dieses Jahrhunderts; infolge der sogenannten Störungen (s. d.), welche die Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne von dem Monde und den Planeten erleidet, bleibt nämlich ihre Umlaufszeit nicht immer genau gleich, und zwar wird dieselbe in den nächsten Jahrtausenden, wenn auch langsam, sich mehr und mehr verkürzen. Nach den scharfsinnigen Berechnungen *Laplace's* ist das tropische Jahr seit *Hipparchs* Zeit (150 v. Chr., also in etwa 2000 Jahren) 10 Sekunden kürzer geworden, und nach *Bessels* vorläufigen Berechnungen wird es im Jahre 3600 n. Chr. nur eine Dauer von 365 Tg. 5 Std. 48 Min. 37 Sek. haben. Hiernach würde nicht, wie oben angegeben worden, erst alle 3600, sondern schon alle 2500 Jahr ein Schalttag zu unterdrücken sein. Man sieht, die Sache hat ihre Schwierigkeiten; soll sie für weitere Jahrtausende entschieden werden, so müßte ein mittleres tropisches Jahr angenommen werden. Rechnete man ein solches zu 365 Tg. 5 Std. 48 Min. 41 Sek., der wahrscheinlichen mittleren Dauer, so würde ein Cyklus von 6000 Jahren, in denen 2 Schalttage auszustoßen wären, die Differenz ziemlich genau ausgleichen. Bis jetzt ist für diese Ausgleichung ernstliche Fürsorge noch nicht getroffen worden, wenn es auch an Vorschlägen nicht gefehlt hat.

II. Der kirchliche Kalender.

Die Angaben des kirchlichen Kalenders betreffen: 1) den Sonntag als wöchentlichen Festtag, 2) die unbeweglichen Festtage, 3) die beweglichen Festtage.

1. **Der Sonntag.** Den Sonntag, den ersten, statt des Sonnabends, den 7. Tag der Woche (Gott ruhete am siebenten Tage von seinen Werken), als wöchentlichen Festtag zu feiern, wurde von den Christen eingeführt, weil die Auferstehung Christi am Sonntag stattfand. Die Sonntage haben in der christlichen Kirche verschiedene Namen, fallen aber nicht alle Jahre auf dasselbe Datum, und sind darum als bewegliche Festtage anzusehen, die sich meist nach dem Osterfeste richten. Es mögen aber schon hier ihre Namen folgen. Die vier Sonntage vor dem (unbeweglichen) Weihnachtsfeste heißen bei Protestanten und Katholiken: der 1., 2., 3., 4. Adventsonntag (Advent = Ankunft). Mit dem 1. Adventsonntage beginnt das christliche Kirchenjahr; er fällt stets zwischen den 26 Novbr. und den 4. Decbr. Der letzte Sonntag des bürgerlichen Jahres heißt: der Sonntag nach Weihnachten; er fällt natürlich weg, wenn der erste Weihnachtstag auf einen Sonntag fällt. Der zwischen dem 1. und 6. Januar liegende Sonntag wird der Sonntag nach Neujahr genannt, der aber ebenfalls ausfällt, wenn der 1. oder 6. Januar selbst ein Sonntag ist.

Die nach dem 6. Januar folgenden Sonntage heißen: der 1., 2., 3., 4. etc. Sonntag nach Epiphanias (der Erscheinung Christi); ihre Zahl kann höchstens 6 betragen und richtet sich nach dem Fall des (beweglichen) Osterfestes. Nach den Epiphanias-Sonntagen folgen die Sonntage: Septuagesima, Sexagesima, Quinquagesima oder Estomihi (wirklich der 50. Tag vor

Ostern), Invocavit, Reminiscere, Oculi, Laetare, Judica, Palmarum (Palmsonntag), von denen die 6 letzten auch der 1., 2., 3., 4., 5., 6. Sonntag der Fasten genannt werden. Die nun folgenden Sonntage nach Ostern heißen: Quasimodogeniti, Misericordias domini, Jubilate, Cantate, Rogate, Exaudi*), Pfingsten (von pentecosti, der 50ste) und Trinitatis (Dreieinigkeitsfest); letzterer wird bei den Katholiken der 1. Sonntag nach Pfingsten genannt.

Die nach dem Trinitatis-Sonntage folgenden Sonntage heißen: der 1., 2., 3. etc. Sonntag nach Trinitatis, deren Zahl sich nach dem Eintritt des Osterfestes richtet, und deren bei den Protestanten nie weniger als 22, und nie mehr als 27 sein können. Die Katholiken zählen daher nie weniger als 23, und nie mehr als 28 Sonntage nach Pfingsten. Das Kirchenjahr ist um!

2. **Die unbeweglichen Festtage** im Kirchenjahr sind: Neujahr d. 1. Jan., Drei Könige oder Epiphania d. 6. Jan., Mariae Reinigung d. 2. Febr., Mariae Verkündigung d. 25. März, Johannis der Täufer d. 24. Juni, Mariae Heimsuchung d. 2. Juli, Mariae Himmelfahrt d. 15. Aug., Mariae Geburt d. 8. Septbr., Kreuzeserhöhung d. 14. Septbr., Michaelistag d. 29. Septbr., Reformationsfest d. 31. Octbr., Martinitag d. 11. Novbr., Mariae Empfängnis d. 8. Decbr., Luciaetag d. 13. Decbr., Weihnachten d. 25. Decbr., Stephan der Märtyrer d. 26. Decbr., Evangelist-Johannistag d. 27. Decbr.

Diese Festtage werden nicht in allen Ländern sämtlich, sondern nur zum Theil, zum kleinsten Theil von den Protestanten gefeiert.

3. **Die beweglichen Feste** richten sich nach dem Osterfeste; außer den oben schon genannten Sonntagen sind die wichtigsten: Fastnacht und Aschermittwoch in der Woche zwischen Estomihi und Invocavit, Mitfasten zwischen Oculi und Laetare, Grüner Donnerstag und Charfreitag zwischen Palmarum und Ostersonntag, Ostern, Himmelfahrtstag 40 Tage nach Ostern, Pfingsten 50 Tage nach Ostern, Frohnleichnamsfest zwischen dem 1. und 2. Sonntag nach Pfingsten.

4. **Berechnung des Osterfestes.** Die Christen hatten von den Römern für das bürgerliche Leben den Julianischen und später auch den durch *Gregor* verbesserten Kalender angenommen, so daß die Tage mit der Sonne ausgeglichen waren. Da aber die ersten Christen unter den Juden lebten und zum großen Theil früher selbst Juden gewesen waren, diese aber ihre Zeitrechnung auf den Mond gründeten, so suchten sie ihre Feste, namentlich das Osterfest, welches dem jüdischen Passahfeste entsprach, nach dem Monde zu regeln. Einige feierten Ostern mit den Juden zusammen, und zwar an dem Tage des Frühlings-Vollmondes, andere am Sonntag darauf, weil Christus an

*) Die Namen mancher Sonntage sind von dem ersten Worte des biblischen Abschnittes hergenommen, der an dem betreffenden Sonntage vorgelesen wurde.

einem Sonntage auferstanden. Im ganzen war daher die Feier des Osterfestes in den ersten Jahrhunderten ziemlich confus. Die Kirchenversammlung von Nicaea, 325 n. Chr., suchte Ordnung in die Sache zu bringen, indem sie verordnete, Ostern solle am ersten Sonntage nach dem Tage des ersten Frühlings-Vollmondes, und wenn dieser auf einen Sonntag falle, 8 Tage darauf gefeiert werden. Man sollte meinen, die Sache wäre nun für immer sehr einfach geregelt gewesen, bei näherer Prüfung ist dies jedoch nicht der Fall; denn es gehört ziemlich bedeutende astronomische Bildung dazu, den Moment genau zu bestimmen, in welchem der Mittelpunkt der Sonnenscheibe den Frühlingspunkt passirt. Man suchte sich deshalb durch eine annäherungsweise richtige, durch eine sogenannte cyklische Bestimmung zu helfen, die von dem wahren Stande der Sonne und des Mondes sich nur wenig (höchstens 1 oder 2 Tage) entfernen konnte. Da für die Zeit des genannten Concils der astronomische Frühlingsanfang zwischen dem 20. und 21. März stattfand, so wurde für immer der 21. März dafür gewählt. Jetzt galt es noch, genau den Tag des ersten Frühlings-Vollmondes zu bestimmen. Hierzu kam es den Christen sehr zustatten, daß der berühmte athenische Astronom *Meton* zur Zeit des peloponnesischen Krieges (400 v. Chr.) gefunden hatte, daß 235 Mondmonate fast genau 19 Sonnenjahren gleich seien, nach so viel Jahren der Neu- und Vollmond also ziemlich genau wieder auf dasselbe Datum falle. Es ist dies der sogenannte *Meton*sche Mondencirkel. Die Athener waren über diese Entdeckung so erfreut, daß sie die Ordnungszahlen der 19 Jahre des Cirkels mit goldenen Buchstaben in öffentlich ausgestellte Tafeln eingraben ließen, und dieselben deshalb die güldenen Zahlen nannten. Man findet die güldene Zahl eines Jahres sehr leicht, wenn man die um 1 vergrößerte Jahreszahl durch 19 dividirt; der Quotient giebt dann die seit 1 v. Chr. verflossene Zahl der Mondencirkel, der Rest aber die güldene Zahl des betreffenden Jahres an. So hat z. B., wie die Rechnung zeigt, das Jahr 1869 die güldene Zahl 8; es ist das 8. Jahr des 99. Mondencirkels.

Es war nun zwar der Mondmonat mit dem Sonnenjahr ausgeglichen, noch nicht aber der Tag mit dem Mondmonat und mit dem Sonnenjahr. Diese Ausgleichung fand etwa 100 Jahre später der Athener *Kalippus*, indem er 4 *Meton*sche Mondencirkel zusammenfaßte und 76 Sonnenjahre gleich 940 Mondmonaten rechnete. Nach diesem *Kalippi*schen Mondencirkel fiel nun ein gewisser Neumond wieder genauer auf denselben Monatstag, als nach dem *Meton*schen Cirkel, so daß erst nach etwa 310 Jahren eine Differenz von 1 Tage eintrat.

Am frühsten berechnete man das Osterfest nach dem *Meton*schen Mondencirkel im Oriente, von wo derselbe im 8. Jahrhundert auch nach dem Abendlande kam. Das erste Jahr des Mondencirkels im Julianischen Kalender ist ein Jahr gewesen, in welchem der Neumond auf den 23. Januar fiel. Ein solches war unter andern auch das Jahr 228 n. Chr., und wenn man von diesem

Jahre 12 Mondencirkel zurückrechnet, auch das Jahr 1 v. Chr., so daß auch dieses als der Anfang eines Mondencirkels angesehen werden kann. In dem ersten Jahr des Mondencirkels bezeichnete man alle Neumonde, die immer abwechselnd 30 oder 29 Tage auseinanderlagen, mit I, der güldenen Zahl, zählte dann vom letzten Neumonde des Jahres weiter und fand so die Data der Neumonde des zweiten Jahres, die mit II bezeichnet wurden. So fuhr man fort, die Neumonde aller 19 Jahre des Mondencirkels zu bezeichnen, und begann dann die Zählung von neuem, brachte aber den Neumond des ersten Jahres des neuen Cirkels wieder auf dasselbe Datum, wobei gewöhnlich 1 Tag zurückgerechnet werden mußte, weil sich 19 Jahre nicht genau mit 235 Mondmonaten ausgleichen. Die so entstandenen Tafeln wurden der immerwährende Julianische Kalender genannt. Hatte man so die Tage der Neumonde bestimmt, so war es leicht, auch die der Vollmonde zu finden, indem man zum Datum des ersteren immer 13 volle Tage hinzurechnete. Man rechnete nämlich den Neumond nicht astronomisch, sondern verstand darunter den Tag, an welchem die Mondsichel zum erstenmale am Abendhimmel sichtbar war. Daß es mit Hilfe des immerwährenden Kalenders nicht schwer war, auch den Frühlings-Vollmond und danach das Datum des Osterfestes zu finden, leuchtet ein. Später suchte man sich von dem immerwährenden Kalender unabhängig zu machen und entwarf mancherlei Tabellen, die aber nicht immer übereinstimmten, bis der Abt *Dionysius der Kleine* in der ersten Hälfte des 6. Jahrhunderts eine vollständige Ostertafel berechnete, die seit Karl dem Großen allgemein in Gebrauch kam.

Indem man aber etwa 8 Jahrhunderte lang nach diesen Tafeln rechnete, blieb man mit dem Himmel nicht in Uebereinstimmung, weder in Beziehung auf den Mond, noch auf die Sonne. Denn 19 Sonnenjahre sind nicht genau 235 Mondumläufen gleich; indem man sie aber gleich annahm, machte man einen Fehler, der in etwa 310 Jahren nach der damals angenommenen Dauer des synodischen Monats 1 Tag betrug. Die Folge davon war, daß alle 310 Jahre der Neumond in Wirklichkeit um 1 Tag früher eintrat, als es nach der cyklischen Berechnung der Fall sein sollte. Man hätte also alle 310 Jahre 1 Tag unterdrücken oder die sogenannte Mondgleichung anbringen müssen. Außerdem war aber auch, wie wir gesehen haben, die Julianische Schaltjahrs-Ordnung nicht richtig; denn man schaltete danach alle 129 Jahre 1 Tag zu viel ein und gerieth dadurch mit der Sonne in Unordnung. Man hätte also auch alle 129 Jahre 1 Tag als sogenannte Sonnengleichung in Rechnung stellen müssen, was aber nicht geschah. So kam es, daß der Julianische Kalender mehr und mehr fehlerhaft wurde und es endlich auch dem Laien auffiel, daß der Tag des Osterfestes nicht mehr kurz nach dem ersten Frühlings-Vollmonde, sondern oft erst nach dem letzten Viertel gefeiert wurde. Abhilfe war also dringend nöthig. Wie *Gregor XIII.* die Wiederübereinstimmung mit der Sonne dadurch herbeiführte, daß nach dem 4. Octbr. gleich der 15. geschrieben wurde, haben wir bereits gesehen; aber auch mit

dem Monde mußte die Ausgleichung erfolgen, da die Abweichung zur Zeit der Kalenderverbesserung schon über 3 Tage betrug, um welche das Datum des Vollmondes zurückgewichen war, so daß die güldenen Zahlen kaum noch brauchbar schienen. *Gregor* regelte auch diese Angelegenheit mit Hilfe des Astronomen *Aloys Lilius*, indem er verordnete, daß das Datum des Frühlings-Vollmondes um $10 - 3 = 7$ Tage vorgerückt werden solle. Damit aber auch in der Folge die Unordnung nicht wieder einreiße, wurde für die Zukunft bestimmt, daß, um zunächst die Mondgleichung zu berücksichtigen, alle 300 Jahre, 7 mal nach einander, und dann nach 400 Jahren (eigentlich hätte es nach je 310 Jahren geschehen sollen) das Datum des Vollmondes um je 1 Tag vermehrt werde; er setzte also für den Mond einen Cyklus von 2500 Jahren fest.

Um aber auch die Sonnengleichung zu berücksichtigen, sollte in den Säcularjahren, die zwar im Julianischen Kalender Schaltjahre waren, wie 1700, 1800, 1900, in denen aber nach der Kalenderverbesserung die Schalttage unterdrückt wurden, das Datum des Vollmondes um 1 Tag vermindert werden.

Man sieht nun leicht, daß in gewissen Jahren die Mond- und die Sonnengleichung zusammentreffen müssen, wie im Jahre 1800 und 2100. In diesen Jahren tritt die Mondgleichung, welche das Datum des Vollmondes um 1 Tag vermehrt, weil es durch 300 theilbare Zahlen sind, aber auch die Sonnengleichung ein, die jenes Datum um 1 Tag vermindert, da sie nicht 4. Jahrhunderte sind: es heben sich also beide Gleichungen auf. Im Jahre 1900 wird nur die Sonnengleichung, im Jahre 2000 weder die Mond- noch die Sonnengleichung eintreten. Nach der cyklischen Berechnung des Osterfestes kann dieses nie vor den 22. März und nie nach dem 25. April fallen, welche Data man wohl die Ostergrenzen nennt. Denn träte der Ostervollmond am 21. März ein, und wäre dies ein Sonnabend, so wäre am Sonntag den 22. März Ostern. Wäre dagegen unmittelbar vor dem 21. März, also am 20. März, Vollmond gewesen, so träte der Ostervollmond 29 Tage später, also am 18. April ein, und wenn dies ein Sonntag ist, so fällt der nächste Ostersonntag auf den 25. April.

Die folgende Uebersicht zeigt das Datum der noch in diesem Jahrhundert eintretenden Osterfeste:

1868	am	12. April	1879	am	13. April	1890	am	6. April
1869	»	28. März	1880	»	28. März	1891	»	29. März
1870	»	17. April	1881	»	17. April	1892	»	17. April
1871	»	9. »	1882	»	9. »	1893	»	2. »
1872	»	31. März	1883	»	25. März	1894	»	25. März
1873	»	15. April	1884	»	13. April	1895	»	14. April
1874	»	5. »	1885	»	5. »	1896	»	5. »
1875	»	28. März	1886	»	25. »	1897	»	18. »
1876	»	16. April	1887	»	10. »	1898	»	10. »
1877	»	1. »	1888	»	1. »	1899	»	2. »
1878	»	21. »	1889	»	21. »	1900	»	15. »

Nähere Ausführung der Sache. Im Anfange der cyklischen Berechnung des Osterfestes suchte man, wie schon oben gesagt, das Datum der Neumonde für die verschiedenen güldenen Zahlen des 19jährigen Mondencirkels zu bestimmen, dann mit Hilfe der sogenannten Epakten*) das Datum der Vollmonde, also auch des Ostervollmondes, und endlich durch Berechnung des sogenannten Sonntagsbuchstabens das Datum des Ostersonntages zu finden. Diese Art der Berechnung war aber ziemlich umständlich, und man führte daher später Tabellen ein, welche leicht die Zahl der Tage finden ließen, die man zu dem 21. März hinzuzuzählen hatte, um das Datum des Ostervollmondes zu finden; das Datum des Ostersonntages war dann leicht zu bestimmen. Wir wollen eine solche Tabelle aufstellen, wie sie in der ersten Hälfte des 8. Jahrhunderts zur Zeit des englischen Kirchenrechners *Beda's des Ehrwürdigen* in dem ersten Jahre eines Mondencirkels aufgestellt worden ist. Zum Verständnis der Sache ist es nöthig zu erwägen, daß, da 12 Mondmonate = 354 Tagen, 13 dergleichen aber 384 Tage sind, das Datum des ersten Frühlings-Vollmondes in jedem folgenden Jahre entweder um 11 Tage zurückweicht, oder um 19 Tage vorrückt. Zur Zeit des genannten *Beda* gehörte zur güldenen Zahl I die Zahl 15; der Ostervollmond fiel also 15 Tage nach dem 21. März, also auf den 5. April. Im folgenden Jahre mußte zur güldenen Zahl II 15 — 11 = 4 gezählt werden; der cyklische Vollmond traf also auf den 25. März. Im dritten Jahre konnte die bestimmende Zahl nicht 11 — 4, sondern nur 4 + 19 = 23 sein, weil man sonst das Datum eines Vollmondes vor dem 21. März gefunden hätte; der Ostervollmond war also am 13. April. Setzt man in der bezeichneten Weise die Rechnung fort, so ergiebt sich folgende Tabelle:

Güldene Zahl	Bestimmende Zahl	Datum des Ostervollmondes
I	15	5. April
II	15 — 11 = 4	25. März
III	4 + 19 = 23	13. April
IV	23 — 11 = 12	2. »
V	12 — 11 = 1	22. März
VI	1 + 19 = 20	10. April
VII	20 — 11 = 9	30. März
VIII	9 + 19 = 28	18. April
IX	28 — 11 = 17	7. »
X	17 — 11 = 6	27. März
XI	6 + 19 = 25	15. April
XII	25 — 11 = 14	4. »
XIII	14 — 11 = 3	24. März
XIV	3 + 19 = 22	12. April
XV	22 — 11 = 11	1. »
XVI	11 — 11 = 0.	21. März
XVII	0 + 19 = 19	9. April
XVIII	19 — 11 = 8	29. März
XIX	8 + 19 = 27	17. April.

*) Unter der Epakte des Jahres verstand man die Zahl, welche die Anzahl der Tage angab, die am 1. Januar seit dem letzten Neumonde verflossen waren. Zu jeder güldenen Zahl gehörte eine besondere Epakte.

Man sieht auch aus dieser Tabelle, daß das Osterfest nicht vor den 22. März (wenn die bestimmende Zahl 0 ist) und nicht nach dem 25. April fallen kann (wenn die bestimmende Zahl 28 ist).

Setzt man in der oben angegebenen Tabelle die Rechnung fort, so erhält man für das erste Jahr des neuen Cirkels die Zahl 16, wonach also der Ostervollmond auf den 6., nicht aber, wie im ersten Jahre des vorigen Cirkels, auf den 5. April fallen müßte. Da dies dem *Meton*schen Mondencirkel widerspricht, so zieht man nach Beendigung eines Cirkels statt 11 die Zahl 12 ab, oder zählt statt 19 nur 18 zur letzten bestimmenden Zahl hinzu. Man nennt dies den Sprung der Zeiten. Wird in dieser Weise der *Meton*sche Cirkel viermal wiederholt, so daß man einen ganzen *Kalippi*schen Cirkel erhält, so weicht der cyklisch bestimmte Vollmond von dem astronomisch berechneten gewöhnlich nur um 1 Tag, höchstens aber um 2 Tage ab, was einmal in dem Sprung der Zeiten, ferner in der einstweiligen Nichtbeachtung der Schalttage, und endlich in der ungleichen Länge der einander folgenden *Meton*schen Mondencirkel seine Ursache hat, indem ein mit dem 2. oder 3. Jahr nach einem Schaltjahr oder mit dem Schaltjahr selbst beginnender Cirkel = 6940 Tg., ein mit dem 1. Jahr nach dem Schaltjahr anfangender aber nur = 6939 Tagen ist.

Daß die oben gegebene Tabelle von Zeit zu Zeit der Berichtigung durch die Mond- und Sonnengleichung bedarf, ist schon oben gesagt worden. So war die in der oben angegebenen Tabelle für das erste Jahr des Mondencirkels geltende Zahl 15, welche vor der *Gregorianis*chen Kalenderverbesserung Giltigkeit hatte; diese Zahl mußte, wie wir gesehen haben, um 7 vermehrt, also in 22 verwandelt werden, und diese Zahl blieb von 1583 ab bis 1699 bestehen, weil im Jahre 1600 kein Schalttag unterdrückt zu werden brauchte, und deshalb keine Sonnengleichung eingetreten war; auch keine Mondgleichung war anzubringen, da 1600 nicht durch 300 theilbar ist. Im Jahre 1700 aber trat die Sonnengleichung ein, und 22 mußte in 23 verwandelt werden. Im Jahre 1800 traten die Mond- und die Sonnengleichung zusammen ein: da sie sich aber gegenseitig aufhoben, so bleibt für das ganze 19. Jahrhundert 23 bestehen. Im Jahre 1900 wird die Sonnengleichung allein eintreten, und aus 23 muß 24 werden u. s. w. Aber außer diesen Aenderungen der Regel kommen noch einige andere bemerkenswerthe Abweichungen vor.

Sollte nämlich in einem Jahre, in welchem weder die Mond- noch die Sonnengleichung eintritt, die bestimmende Zahl = 29 werden, so verwandelt man 29 in 28, berechnet aber die Zahl für das folgende Jahr so, als ob es 29 gewesen wäre.

Sollten sich ferner innerhalb eines Cyklus von 19 Jahren die Zahlen 28 und 29 zeigen, so wird 28 in 27, 29 in 28 verwandelt. Ist endlich in einem ersten Jahre des Cyklus die bestimmende Zahl durch die Sonnengleichung auf 29 gewachsen, so wird diese Zahl bei einer neuen, nicht durch die Mondgleichung aufgehobenen Sonnengleichung anstatt in 30 in 0 verwandelt; dieses 0 aber wird in einem solchen Jahre bei einer neuen, nicht durch die Sonnengleichung aufgehobenen Mondgleichung in 29 verwandelt.

Auf diese Weise soll verhindert werden, daß Ostern zu andern Zeiten als zwischen den 22. März und den 25. April falle; doch ist zu bemerken, daß die beiden letzten Ausnahmen von der Regel nur selten zur Anwendung kommen.

Es wäre nun aber ziemlich weitläufig, wenn man, um das Osterfest für ein bestimmtes Jahr zu berechnen, die oben angegebene Tabelle bis zu diesem Jahre fortsetzen müßte; das folgende abgekürzte Verfahren führt leichter zum Ziel. Man be-

denke Folgendes: die Subtraction der Zahl 11 ist gleichbedeutend mit einer Addition der Zahl 19 und einer darauf folgenden Subtraction der Zahl 30. Anstatt also abwechselnd 11 zu subtrahiren und 19 zu addiren, kann man unausgesetzt 19 addiren und dann 30 so oft als möglich subtrahiren oder, was dasselbe ist, nach jener fortgesetzten Addition von 19 die erhaltene Zahl durch 30 dividiren.

Beispiel. Für dieses Jahrhundert gilt die Zahl 23. Im Jahre 1868 sind $\frac{1868}{19} = 98$ Mondencirkel verflossen, Rest 6. Dieser Rest zeigt an, daß mit dem Jahre 1868 bereits 6 Jahre des 99. Cirkels abgelaufen sind; es ist also das 7. Jahr dieses Cirkels und hat die güldene Zahl 7. Nach dem Obigen muß man also $6 \times 19 = 114$ der bestimmenden Zahl 23 hinzufügen, giebt 137. Nun ist aber $\frac{137}{30} = 4$, Rest 17. Die das Datum des Ostervollmondes bestimmende Zahl heißt also 17, diese zum 21. März gezählt, giebt den 7. April als das gesuchte Datum. Der 7. April fiel auf einen Dienstag, am nächsten Sonntag den 12. April war also Ostern.

5. **Die Einführung des neuen Kalenders.** Der in angegebener Weise durch *Gregor* verbesserte Kalender wird gewöhnlich der Gregorianische oder der Kalender des »neuen Styls« genannt. Nach Erlaß der päpstlichen Bulle im Jahre 1582 wurde derselbe in Italien, Spanien und Portugal sogleich, in Frankreich nach 2 Monaten, in dem katholischen Theile der Schweiz und der Niederlande 1583, in Polen 1586, in Ungarn 1587 angenommen. Allein es währete lange Zeit, ehe derselbe allgemein Eingang fand. Namentlich widersetzten sich die Protestanten in Deutschland und andern Ländern, weil die Verbesserung vom Papste ausgegangen war, lange der Einführung des Kalenders. Wegen der vielen Inconvenienzen aber, die sich durch den Gebrauch zweier verschiedenen Kalender in demselben Lande in unangenehmer Weise fühlbar machten, wurde endlich im Jahre 1699 von den evangelischen Ständen der neue Kalender, so weit er die Berichtigung des Datums und die Schaltjahrsordnung betraf, angenommen, und nach dem 18. Februar 1700 sogleich den 1. März zu schreiben angeordnet. Differenzen blieben aber noch hinsichtlich der Feier des Osterfestes bestehen. Wie wir gesehen haben, begnügten sich die Katholiken mit einer annäherungsweise richtigen, cyklischen Berechnung des ersten Frühlings-Vollmondes, die aber den Vortheil hatte, mit Leichtigkeit für mehrere Jahrhunderte, ja Jahrtausende vollzogen werden zu können. Die Protestanten aber wollten eine scharfe astronomische Berechnung des Ostervollmondes eingeführt wissen; es sollte nämlich jährlich genau der Augenblick des Vollmondes bestimmt werden, der dem Momente des Duchganges des Sonnenmittelpunktes durch den Frühlingspunkt zunächst nachfolgt. Diese Berechnung kann allerdings gemacht werden; aber es ist sehr schwierig, dieselbe für Jahrhunderte im voraus auszuführen. Die Protestanten glaubten, durch die von dem berühmten *Kepler* mit Unterstützung des Kaisers *Rudolf II.* herausgegebenen Rudolfinischen Tafeln, welche sich auf die genauen Beobachtungen des dänischen Astronomen *Tycho de Brahe* gründeten, ihren Zweck erreichen zu können, und bestimmten aus Verehrung für diesen

Astronomen den Meridian von Uranienborg auf einer kleinen Insel nahe bei Kopenhagen, wo *Tycho* beobachtete, als den Normal-Meridian, für den der Augenblick des wahren astronomischen Vollmondes bestimmt werden sollte, damit die östlicher oder westlicher wohnenden Protestanten einen festen Anhalt für das Datum hätten. Den so umgestalteten Kalender nannte man den verbesserten Kalender, nach welchem man das Osterfest berechnete. Dadurch entstanden aber Unordnungen, indem das katholische und das protestantische Osterfest einigemale um 8 Tage auseinandergingen, was zu unangenehmen Reibereien und selbst zu Schlägereien Veranlassung gab. Um diesem unerquicklichen Zustande ein Ende zu machen, trat *Friedrich II.* auf dem Reichstage zu Regensburg im Decbr. 1775 in der Kalender-Angelegenheit auf die Seite der Katholiken, die diesmal das Praktischere gewählt hatten, und bewog die protestantischen Stände nachzugeben. Nachdem sodann einige Aenderungen in der Bezeichnung mancher Tage mit Heiligen-Namen von den Protestanten vorgenommen worden waren, kam vom Jahre 1777 ab der Gregorianische Kalender unter dem Namen des allgemeinen Reichskalenders in der ganzen abendländischen Kirche in Gebrauch.

Nur die Griechen und die Russen glaubten den Julianischen Kalender (nach entsprechender Aenderung und Bezeichnung der Festtage) beibehalten zu müssen, der jetzt häufig auch der russische Kalender oder der Kalender des alten Styls genannt wird. Nach demselben ist man gegenwärtig gegen den neuen Kalender um 12 Tage zurück. Es fällt bei jenen Völkern also das Frühlings-Aequinoctium, d. i. der Eintritt der Sonne in das Zeichen des Widders, schon auf den 9. März, wie man aus unserem Kalender ersehen kann, der gewöhnlich neben dem neuen noch den alten mit aufführt.

Im Jahre 1900 wird die Differenz bereits 13 Tage betragen, und wenn die genannten Völker bei ihrer bisherigen Zeitrechnung beharren sollten, so wird der Frühlingsanfang endlich aus dem März in den Februar, von diesem in den Januar u. s. w. durch alle Monate des Jahres rücken. Indessen ist wohl anzunehmen, daß die wirklichen Verhältnisse und die Vernunft in den Dingen endlich auch die größten Vorurtheile besiegen werden.

Zweiter Abschnitt.

Von dem Monde.

Vorbereitende Bemerkungen.

Verlassen wir die Erde, und wenden wir uns zu ihrem treuen Begleiter, dem Monde, um zu erfahren, welche Bewandtnis es mit den an ihm wahrzunehmenden und in dem zweiten Kapitel des zweiten Abschnitts näher beschriebenen Bewegungen hat.

1. **Zweifache Bewegung des Mondes.** Der Mond zeigt bekanntlich, ähnlich der Sonne, gleichzeitig zwei Bewegungen, eine tägliche, von O. nach W. gerichtete, in der er täglich einen Tagkreis durchläuft, und eine monatliche, bei der er täglich etwa 13^0 von W. nach O., also gegen die Richtung des täglichen Umschwungs des Himmels fortschreitet, und erst in Monatsfrist einen ganzen Kreis, die Mondbahn, beschreibt. Es entsteht nun hier die Frage, wie diese zweifache Bewegung ihre einfache Erklärung findet.

2. **Die tägliche Bewegung des Mondes erklärt sich aus der Rotation der Erde.** Was die tägliche Bewegung des Mondes betrifft, so weiset schon der Umstand, daß der Mond dieselbe mit allen Gestirnen des Himmels gemeinschaftlich hat, auf eine gemeinsame Ursache hin, und als diese haben wir bereits die Rotatien der Erde kennen gelernt. Diese tägliche Bewegung der Erde veranlaßt auch die tägliche Bewegung des Mondes von O. nach W., was specieller nachzuweisen nach dem in dieser Beziehung von der Sonne Gesagten nicht mehr nöthig sein wird.

3. **Die monatliche Bewegung des Mondes erklärt sich aus der Bewegung desselben um die Erde.** Die monatliche Bewegung des Mondes würde sich erklären lassen, wenn entweder der Mond im Laufe eines Monats sich von W. nach O. um die Erde bewegte und dabei täglich etwa 13^0 zurücklegte, oder wenn die Erde den Mond in derselben Zeit umkreisete. Welcher Fall der wahrscheinlichere ist, ergiebt sich leicht, wenn man an das Massenverhältnis beider Weltkörper denkt. Die Erde ist nicht nur der größere, sondern auch der massenhaftere Körper; erst c. 88 Monde würden der Erde das Gleichgewicht halten, und da in der Körperwelt die Masse hauptsächlich bestimmend für die ausgeübte Kraft ist, so wird höchst wahrscheinlich die Erde den Mond zwingen, sie zu umwandeln, wie wir ja auch die Monde anderer Planeten diese umkreisen sehen. Es ist deshalb an der Bewegung des Mondes

um die Erde nicht zu zweifeln. Die Erde ist also für ihn das, was die Sonne für die Erde ist, nämlich der Centralkörper; da aber dieser von der Sonne abhängig ist, so muß auch der Mond in Jahresfrist mit der Erde die Reise um die Sonne machen. Es sind also zunächst zwei Bewegungen, die wir an dem Monde unterscheiden müssen, nämlich: 1) die Bewegung um die Erde, 2) die mit der Erde um die Sonne, und es wird nun unsere Aufgabe sein nachzuweisen, in wie weit die an dem Monde wahrzunehmenden und beschriebenen Erscheinungen in dieser seiner zweifachen Bewegung ihre Erklärung finden.

Erstes Kapitel.

Erklärung der betreffenden Erscheinungen aus den Bewegungen des Mondes.

I. Im allgemeinen.

Da es uns hier zunächst um Auffassung der bestehenden Verhältnisse in großen Umrissen zu thun ist, so wollen wir einstweilen die Bahn des Mondes als einen Kreis ansehen, in dessen Mittelpunkt die Erde sich befinde, und von der fortschreitenden Bewegung der Erde und der dadurch bewirkten Aenderung der Lage und Form der Bahn des Mondes absehen.

1. **Wahre Geschwindigkeit des Mondes.** Nehmen wir die Entfernung des Mondes von der Erde zu 51000 Mln. an, so hat die Bahn eine Länge von etwa 320000 Mln., und da diese Bahn in der Zeit eines siderischen Monats (S. 50), in 27 Tg. 7 Std. 43 Min. 11,5 Sek. durchlaufen wird, so legt der Mond in jeder Sekunde durchschnittlich etwa 3100 Fuß oder $^2/_{15}$ Mln. zurück. Diese Geschwindigkeit ist etwas größer als das Doppelte der Rotationsgeschwindigkeit eines Punktes des Erdäquators, aber nur $^1/_{30}$ der Geschwindigkeit (4,119 Mln. in der Sekunde), mit welcher die Erde in ihrer Bahn fortschreitet.

2. **Scheinbare Geschwindigkeit des Mondes.** Die auf den Himmel projicirte Mondbahn erscheint von der Erde aus als ein größter Kreis, den wir bereits bei der Betrachtung der scheinbaren Bewegungen des Mondes als die Mondbahn (S. 48ff.) kennen gelernt haben. Diesen Kreis, also 360°, scheint der Mond in der oben angegebenen Dauer des siderischen Monats, und zwar, auf den Horizont bezogen, von W. nach O. oder in der Reihenfolge der Zeichen zu durchlaufen; sein Weg am Himmel in Beziehung auf die Fixsterne beträgt mithin, wie eine einfache Rechnung ergiebt, durchschnittlich täglich 13°,1763. Da die Sonne wegen der fortschreitenden Bewegung der Erde täglich im Mittel 0°,9856 in der Ekliptik fortrückt, so erscheint die Bewegung des Mondes etwa $13^1/_3$mal so schnell als die scheinbare Bewegung der Sonne. Während die Sonne die 12 Zeichen der Ekliptik und die Sternbilder des Thierkreises erst innerhalb eines Jahres durchwandert, durchschreitet sie der Mond schon

in 27 Tg. 7 Std. 43 Min. 11,5 Sek., so daß er durchschnittlich nach je 2 Tg. 6 Stdn.. 38 Min. 35,52 Sek. in ein neues Zeichen tritt.

3. **Die tägliche Verspätung der Culmination des Mondes.** Der Mond ändert also seine Stellung zu den Fixsternen durchschnittlich täglich um 13°,1763, und darum muß die tägliche Verspätung seiner Culmination in Beziehung auf die Fixsterne 13,1763 $\times$ 4 = 52,7052 Min. Sternzeit oder 52,5613 Min. mittlerer Zeit, gegen die Sonne bei der früher angegebenen scheinbaren Bewegung derselben 48,7628 Min. Sternzeit oder 48,6 Min. mittlerer Zeit betragen. Die tägliche Verspätung der Culmination des Mondes hat also ihre Ursache in seiner monatlichen Bewegung um die Erde. — Warum diese Verspätung hinsichtlich des Auf- und Untergangs bald größer, bald kleiner als die oben angegebenen Zahlen sind, haben wir bei der Betrachtung der scheinbaren Bewegung des Mondes (S. 51 ff.) bereits ausführlich besprochen, so daß es genügen wird, hier darauf zurückzuweisen.

4. **Die Entstehung der Phasen.** Welche Bewandtnis aber hat es mit den Lichtgestalten des Mondes?

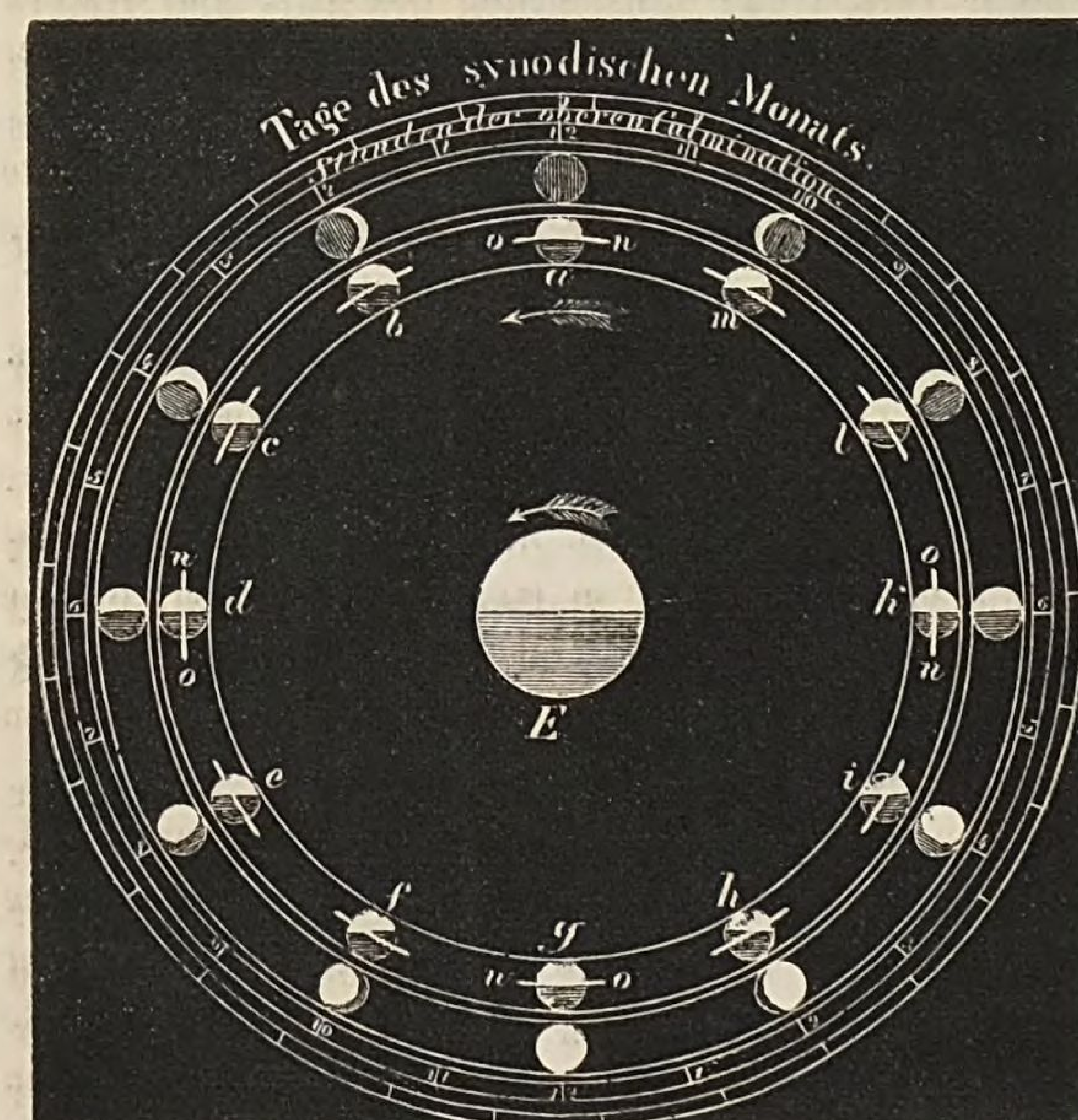
Der Mond ist, wie der Augenschein lehrt, ein kugelförmiger Körper, der sein Licht von der Sonne empfängt. Ohne auf eine subtile Betrachtung hier einzugehen, kann gesagt werden, daß von dem Monde stets die der Sonne zugewandte Hälfte erleuchtet ist. Bei seiner Bewegung um die Erde nimmt aber diese erleuchtete Hälfte die verschiedensten Stellungen zur Erde an, und hierin finden die verschiedenen Lichtgestalten des Mondes ihre einfache und natürliche Erklärung.

Zur Veranschaulichung möge (S. 210) *Fig. 60* dienen. Es stellen *E* die Erde und die in dem ersten, inneren Ringe stehenden Kreise den Mond vor. Von diesem ist die Hälfte als von der Sonne erhellt (die wir uns in 400 facher Entfernung der Erd-Mond-Entfernung, in der Figur nach oben, zu denken haben) zur Darstellung gebracht, und zugleich durch eine auf der von der Erde zum Monde gehenden Gesichtslinie senkrecht stehende Linie *no* die von der Erde aus sichtbare Hälfte des Mondes von der unsichtbaren getrennt worden. Die Gestalt, in welcher uns der sichtbare Theil der erleuchteten Hälfte erscheint, ist in dem zweiten, äußeren Ringe zu erkennen. Der Standpunkt muß immer auf der Erde (eigentlich im Mittelpunkte derselben) gedacht werden.

In der Stellung des Mondes bei *a* kehrt er der Erde die ganze dunkle Hälfte zu, und von der erleuchteten ist gar nichts sichtbar. Es ist Neumond, und der Mond steht in Conjunction mit der Sonne. Denken wir uns die Erde von W. nach O. (in der Richtung des Pfeils) rotiren, so wird klar sein, daß der Mond als Neumond zugleich mit der Sonne auf- und untergehen muß. Von der Stellung in *a* entfernt sich der Mond in der Reihenfolge der Zeichen oder von W. nach O. täglich etwa 13°, und dadurch wird allmählich ein Theil seiner erleuchteten Hälfte sichtbar, der wie eine Sichel erscheinen muß, wovon man sich leicht durch eine zur Hälfte geschwärzte Kugel überzeugen kann. Die Figur zeigt in der Stellung des Mondes bei *b* im ersten Ringe den

sichtbaren Theil desselben nach $2^1/_2$ Tg., durch *no* abgeschnitten, und zugleich im zweiten Ringe die Gestalt der Sichel, in welcher das erleuchtete Stück uns erscheint. In dieser Stellung ist der Mond der Sonne um etwa ein Zeichen voraus; er muß darum, man denke sich nur die Erde rotirend, nach der Sonne auf- und untergehen und nach Sonnenuntergang noch kurze Zeit am Abendhimmel sichtbar sein. Ungefähr 5 Tage nach dem Neumonde steht der Mond in *c*, etwa 2 Zeichen von der Sonne entfernt; der sichtbare erleuchtete Theil hat an Breite zugenommen, und der Mond geht noch später nach der Sonne unter. Nach $7^2/_5$ Tagen ist die Entfernung des Mondes von der Sonne auf 3 Zeichen oder 90° angewachsen, und es ist genau die Hälfte der hellen und die Hälfte der dunklen Seite der Erde zugewandt, so daß die Lichtgrenze, wie in *d*, als eine gerade Linie erscheint. Es ist erstes Viertel, und in dieser Phase culminirt der Mond ungefähr 6 Stdn. nach der Sonne. Mit jedem Tage vergrößert sich die Entfernung des Mondes von der Sonne, aber zugleich auch die Größe des sichtbaren erleuchteten Theils, bis endlich, nachdem der Mond allmählich die Stellungen bei *e* und *f* eingenommen hat, in *g* die ganze erleuchtete Seite des Mondes der Erde zugewandt und Vollmond eingetreten ist. Dieser Fall ereignet sich $14^3/_4$ Tg. nach dem Neumonde; der Mond ist dann von der Sonne 6 Zeichen oder 180° entfernt, steht ihr mithin gerade gegenüber oder in Opposition mit ihr, geht daher auf, wenn die Sonne untergeht, und scheint die ganze Nacht hindurch. Indem der Mond nun aber allmählich die Stellungen bei *h* und *i* erreicht, verbirgt sich wieder mehr und mehr von seiner hellen Seite den Blicken der Erde oder der Mond nimmt ab, bis in *k*, etwa 22 Tg. nach dem Neumonde, nur noch die Hälfte derselben, nach links gewandt, gesehen werden kann. Die Entfernung des Mondes von der Sonne beträgt, in der Richtung seiner fortschreitenden Bewegung gerechnet, 9 Zeichen oder 270°, und es ist letztes Viertel. Er muß nun als solcher, da er sich der Sonne wieder bis auf 90° genähert hat, ungefähr 6 Stdn. vor der Sonne culminiren und uns nach Mitternacht sein Licht

Fig. 60.



spenden. In den folgenden Tagen nimmt der sichtbare erleuchtete Theil immer mehr ab, zeigt in *l* und *m* nur noch nach links ausgebogene Sicheln, und endlich nach 29 Tg. 12 Stdn. 44 Min. 2,9 Sek. erscheint er wieder in Conjunction mit der Sonne, womit der Vorgang sich in der angegebenen Weise erneuert.

Die Zeit, welche von einem Neumonde bis zum nächstfolgenden vergeht oder in welcher der Mond in Beziehung auf die Sonne einen Umlauf vollendet, nennt man bekanntlich einen synodischen Monat; er hat die oben angegebene Dauer. Dieser Monat ist länger als der siderische Monat, da wegen der fortschreitenden Bewegung der Erde die Sonne nicht mehr bei denselben Fixsternen verblieben, sondern in der Ekliptik etwa ein Zeichen rechtläufig fortgeschritten ist. In der Dauer eines synodischen Monats durchläuft also der Mond mehr als 360°, etwa 13 Zeichen.

Die veränderte Stellung des Mondes zu den Zeichen der Ekliptik konnte in der Figur nicht angegeben werden; diese ist aber geeignet, noch einige andere den Mond und die Erde betreffende Dinge zu veranschaulichen.

5. **Veranschaulichung der Verspätung der Culmination des Mondes.** Da der Mond als Neumond in Conjunction mit der Sonne steht, so muß in dieser Phase seine Culmination zu gleicher Zeit mit der der Sonne erfolgen. Nach dem Neumonde aber müssen sich mit jedem Tage die Culminationszeiten beider Gestirne mehr und mehr von einander entfernen, bis sie beim nächsten Neumonde wieder zusammenfallen. Die ganze Differenz der Culminationszeiten innerhalb eines Monats muß daher, wenn stets in demselben Sinne fortgezählt wird, allmählich bis auf 24 Stdn. anwachsen.

In der *Fig. 60* ist neben den einzelnen Phasen die Zeit der oberen Culmination des Mondes in dem innersten der beiden äußersten, in 2 >< 12 gleiche Theile getheilten Ringe abzulesen; zugleich kann in dem äußersten Ringe, der der Zahl der Tage des synodischen Monats gemäß getheilt ist, die entsprechende Zahl der Tage, welche für die betreffende Phase seit dem Neumonde verflossen sind, ersehen werden. Als Sichel in *b* z. B., 2½ Tg. nach dem Neumonde, erfolgt die obere Culmination des Mondes erst gegen 2 Uhr Nachmittag. Als erstes Viertel in *d*, 7⅖ Tg. nach dem Neumonde, tritt dieselbe erst um 6 Uhr abends ein. Als Vollmond in *g*, 14¾ Tg. nach dem Neumonde, culminirt der Mond über dem Horizonte erst um 12 Uhr Mitternacht. Beim letzten Viertel in *k* dagegen erfolgt die obere Culmination erst 18 Stdn. nach der der Sonne oder, was dasselbe ist, 6 Stdn. vor derselben, etwa 6 Uhr morgens. Die in den Zwischenstationen eintretenden Verhältnisse werden ohne weiteres aus der Figur erkannt werden. Was indessen die obigen Zeitangaben betrifft, so sind sie nur annäherungsweise richtig. Denn dadurch, daß die fortschreitende Bewegung des Mondes nicht im Sinne des Aequators, dessen Richtung für die Zeitbestimmung maßgebend ist, sondern in einer selbst gegen die Ekliptik noch geneigten Bahn erfolgt, muß eine, wenn auch meist nur geringe, Abweichung in der Zeit entstehen, was an einem andern Orte (S. 51) schon näher nach-

gewiesen worden ist; ebenso ist bereits gesagt worden, daß die Zeit, welche der Mond in den einzelnen Phasen vor oder nach der Sonne auf- und untergeht, noch beträchtlicher von der oben angegebenen verschieden ist.

6. **Das aschgraue Licht des Mondes.** Die bisher betrachtete *Fig. 60* ist ferner geeignet, das Verständnis für eine Erscheinung herbeizuführen, deren schon S. 46 Erwähnung geschehen ist, und die unter dem Namen des aschgrauen Lichtes des Mondes, das einige Tage vor und nach dem Neumonde gesehen werden kann, bekannt ist.

Wie der Mond der Erde sein von der Sonne empfangenes Licht spendet, so thut es auch die Erde mit dem ihr verliehenen Lichte gegen den Mond. Beim Neumond in *a* ist den etwanigen Bewohnern des Mondes (Seleniten) die ganze erleuchtete Seite der Erde zugewandt, und sie haben Vollerde. Die Erleuchtung, welche dadurch die dunkle Seite des Mondes erfährt, ist wegen der $13^1/_2$fachen Größe der Erde auch $13^1/_2$mal so bedeutend, als die durch den Vollmond auf der Erde hervorgebrachte. Die hierdurch bewirkte Erleuchtung des Mondes zur Zeit des Neumondes würde uns nicht verborgen bleiben, wenn nicht wegen der unmittelbaren Nähe der Sonne das matte Licht des Erdscheins auf dem Monde von der Sonne überstrahlt würde. Einige Tage vor und nach dem Neumonde aber ist die Entfernung des Mondes von der Sonne groß genug, um das matte, dem Monde von der Erde gespendete Licht neben der im Sonnenscheine erglänzenden Sichel wahrnehmen zu lassen. Aber auch nur in der angegebenen Zeit ist es sichtbar; denn schon in den Vierteln wird es von dem heller leuchtenden Monde selbst überstrahlt und gänzlich unsichtbar. Jedoch trägt auch noch ein anderer Umstand zum Verschwinden desselben bei. Wenn man sich nämlich die Erde von dem Monde aus betrachtend denkt, so zeigt die Figur unmittelbar, daß der dem Monde zugekehrte Theil der erleuchteten Erdhälfte, den man stets erhält, wenn man sich durch die Erde eine mit der durch den Mond gehenden Linie *no* parallele Linie gezogen denkt, um so kleiner wird, je weiter sich der Mond von seiner Stellung im Neumonde entfernt. Während die Erde von *a* aus als Vollerde gesehen wird, erscheint sie in *b* schon als abnehmend, und zwar fehlt an der vollen Scheibe ein Theil, welcher der von der Erde aus gesehenen Sichel des Mondes proportional ist. In *d*, beim ersten Viertel des Mondes, zeigt sich die Erde als letztes Viertel, in *g*, beim Vollmonde, als Neuerde u. s. w. Die von dem Monde aus gesehenen Lichtgestalten der Erde sind also den von der Erde aus am Monde gesehenen entgegengesetzt. Es stellt sich also bei zunehmendem Monde die Erde als abnehmend dar, und darum nimmt auch nach dem Neumonde das dem Monde gespendete Erdlicht an Intensität fortwährend ab, und dies ist ein zweiter Grund des allmählichen Erlöschens des aschgrauen Lichtes *(lumière cendrée)* des Mondes. Vom Vollmonde bis zum Neumonde, bei abnehmendem Monde, treten die entgegengesetzten Verhältnisse ein: die Erde wird zunehmend, und nach dem letzten Viertel des Mondes in *k* wächst das Erdlicht bis zum Neumonde beständig an.

Auf die Intensität des dem Monde verliehenen Erdlichtes ist noch ein besonderer dritter Umstand von Einfluß, nämlich die Vertheilung des Festen und Flüssigen auf der Erdoberfläche.

Es haben nämlich nicht alle Stoffe die Fähigkeit, das Licht zu reflektiren, in gleichem Maße. So reflektirt, worauf es hier nur ankommt, Land das Licht stärker als Wasser, weil dieses einen großen Theil des empfangenen Lichtes verschluckt. Darum werden, vom Monde aus gesehen, die Continente der Erde in hellerem Lichte erglänzen, als das Meer, das sich als eine mehr oder weniger gleichmäßig dunkle Fläche darstellen wird. Man wird daher auf dem Monde früher mit der Zahl der Erdtheile bekannt gewesen sein, als wir auf der Erde. Nun sind aber Land und Wasser ungleich auf der Erde vertheilt, und zwar ist die östliche Halbkugel landreicher als die westliche.

Dies bleibt auf die Intensität des Erdlichtes nicht ohne Einfluß. So lehrt die Erfahrung, daß im allgemeinen das Erdlicht morgens bei abnehmendem Monde heller ist, als abends bei zunehmendem Monde, und dies ist leicht erklärlich, indem morgens Asien, das östliche Europa und das östliche Afrika, also viel Land; abends aber das atlantische Meer und ein Theil Amerikas, also viel Wasser, dem Monde zugekehrt sind. Am hellsten aber erscheint das Erdlicht in den Tropengegenden, wo die Reinheit der Atmosphäre den Glanz desselben erhöht; in unseren nördlichen Breiten wird die Erscheinung am schönsten in den Morgenstunden des Herbstes und in den Abendstunden des Frühlings wahrgenommen.

II. Bewegung des Mondes mit besonderer Beziehung zur Mondbahn.

1. Eigenthümliche Form der Mondbahn in Beziehung auf die Sonne. Wir nahmen bisher die Mondbahn als eine kreisförmige, in sich geschlossene Bahn, und die Erde als den (ruhend gedachten) Mittelpunkt dieser Bahn an. Allein diese Annahme stimmt nicht mit den wirklich bestehenden Verhältnissen, indem die Erde wegen ihrer Bewegung um die Sonne, wobei sie der Mond begleitet, nicht der ruhende, sondern der bewegliche Mittelpunkt (?) der Mondbahn ist; in Beziehung auf die Sonne kann daher die Bahn des Mondes unmöglich eine in sich geschlossene Curve darstellen.

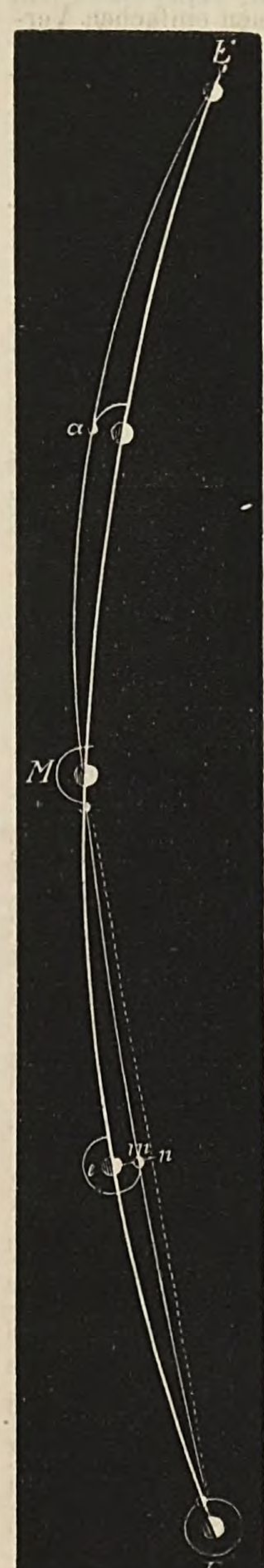
Welche Form aber nimmt der Weg des die Erde auf ihrer Reise um die Sonne begleitenden Mondes an?

Zu einem sicheren Resultate werden wir gelangen, wenn wir die beiden die Form der Bahn bedingenden Verhältnisse, nämlich das Verhältnis der Geschwindigkeiten der Erde und des Mondes, und die Entfernung beider von einander prüfen.

Die Länge der ganzen Erdbahn beträgt ungefähr 130 mill. Mln., und daher die Länge des in der Dauer eines synodischen Monats von der Erde durchlaufenen Theils derselben etwa $10\frac{1}{2}$ mill. Mln. Nehmen wir dieselbe in runder Zahl zu 10 mill. Mln. an.

Der Mond macht, indem er die Erde begleitet, bei seiner Bewegung um die Erde diesen Weg im Raume mit. Seine Entfernung von der Erde ist dabei in runder Zahl 50000 Mln., und dies ist von jenen 10 mill. Mln. der 200. Theil.

Fig. 61.



Seine Entfernung ist also nur sehr klein im Vergleich zu dem Wege, den die Erde im Laufe eines Monats in ihrer Bahn zurücklegt. Er kann darum beim Umkreisen der Erde nicht wieder an denselben Ort im Raume zurückgelangen, an dem er schon einmal war. So viel steht also zunächst fest, daß der Weg des Mondes keine in Schleifen geschlungene Curve sein kann. Sie muß vielmehr etwa die in der *Fig. 61* durgestellte Form haben.

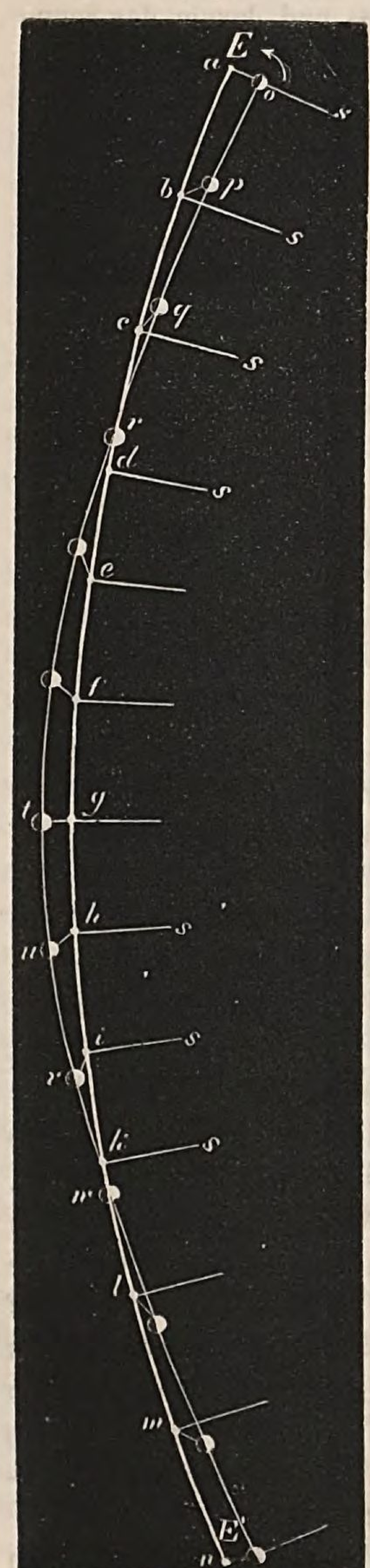
Es bezeichnet in derselben die stärker gezeichnete Curve EE' den in einem Monate von der Erde durchlaufenen Theil der Erdbahn. Der 200. Theil dieser Curve, der Entfernung des Mondes von der Erde entsprechend, ist kleiner als der Abstand des Punktes c des Bogens ME' von der Sehne MnE' dieses Bogens, und etwa gleich cm. Es muß darum die von dem Monde in einem Monate durchlaufene Bahn etwa die Form der die Erdbahn EME' begleitenden Curve $EaMmE'$ haben. Es löst sich somit die kreisförmige Bahn durch die fortschreitende Bewegung der Erde in zwei Theile auf, von denen der eine, EaM, außerhalb, der andere, MmE', innerhalb der Erdbahn liegt. Dieser letztere Theil ist aber nicht etwa nach innen, der Sonne zu, sondern noch nach außen convex; er ist nur flacher, als der außerhalb der Erdbahn gelegene Theil der Mondbahn.

Da der Mond im Laufe eines Jahres etwa $12^2/_5$ synodische Umläufe macht, so ist die ganze jährliche Bahn des Mondes eine $12^2/_5$malige Wiederholung der dargestellten Curve. In der Form einer Spirale (denn diese Form nimmt sie wegen der Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik an, so daß sie theils über, theils unter der Ebene des Papiers liegend zu denken ist), umschlingt sie die Erdbahn, aber in jedem Jahre in anderer Weise, da der Mond am Ende eines Jahres nicht wieder zu dem Anfange der Curve zurückkehrt, sondern den schon begonnenen 13. Umlauf fortsetzt. Der Mond kehrt somit, streng genommen, nie zu demselben Punkte des Raumes zurück, an dem er sich schon einmal befunden. Ließe er eine Spur seines Weges zurück, so würde dieser sich zuletzt als ein nicht entwirrbares Geflecht von Curven darstellen.

Die wirkliche Mondbahn wird nun zwar in manchen

Stücken von der oben dargestellten abweichen, da namentlich die schon erwähnte Neigung der Mondbahn zur Ekliptik, wodurch die Schlangenlinie zu einer Spirale wird, sowie die sogenannten Störungen etc. bei der Construction ganz außer acht gelassen sind. Allein die Darstellung wird doch immer ein leitender Faden sein können, mit dessen Hilfe es gelingen wird, sich auch die Abweichungen von den angenommenen einfachen Verhältnissen vorzustellen.

Fig. 62.



2. Die Stellungen des Mondes in der Curve in seinen verschiedenen Phasen. Welche Stellung der Mond in seinen verschiedenen Phasen in der obigen Curve hat, soll *Fig. 62* zeigen.

Es sei in derselben *E E'* wieder der von der Erde in einem Monate, und zwar von Neumond zu Neumond durchlaufene Bogen der Erdbahn, von dem entsprechenden Theile der Mondbahn begleitet, und in den entsprechenden Bahnen ist der Ort der Erde (des Mittelpunktes derselben) und des Mondes von $2^1/_3$ zu $2^1/_3$ Tagen angegeben worden. Der Ort der Sonne ist durch die von dem Erdorte nach innen gezogenen geraden Linien angedeutet. Zugleich sei bemerkt, daß der Mond von der Rechten zur Linken, in der Richtung des bei *E* stehenden Pfeiles, um die Erde wandernd zu denken ist.

Steht der Mond in der Mitte des der Sonne zugekehrten Theiles seiner Bahn, wie in *o*, so ist Neumond, und die die Erde und Sonne verbindende Linie *a o s* hat die Richtung zur Sonne; der Mond steht in Conjunction mit dieser. Ist die Erde in *b* angekommen, so steht der Mond in *p* und erscheint von der Erde aus gesehen als schmale Sichel um den Winkel *s b p* links von der Sonne. In *c* ist der den Abstand des Mondes von der Sonne messende Winkel *s c q* noch größer geworden, und in *d* ist derselbe, Winkel *s d r*, zur Zeit des ersten Viertels $= 90^0$. Auf dem Wege der Erde von *d* bis *g* wächst dieser Winkel allmählich zu 180^0 an, welche Größe er in *g* erreicht. Der Vollmond in *t* steht der Sonne gegenüber. Indem die Erde von *g* bis *k* fortrückt, erfolgt eine scheinbare Annäherung des Mondes an die Sonne, indem die von der Erde zur Sonne und zum Monde gehenden Gesichtslinien einen immer kleineren, rechts von der Sonne liegenden Winkel mit einander bilden, wie in der Figur an den Winkeln

shu, *siv* und *skw* zu ersehen ist. Letzterer Winkel, beim letzten Viertel des Mondes, ist nur noch = 90°. In den Stellungen der Erde in *l*, *m* und *n* wird die scheinbare Annäherung des Mondes an die Sonne immer bedeutender, bis von dem letzteren Erdorte aus der Mond als Neumond wieder in Conjunction mit der Sonne erscheint. Man wird aus dem Gesagten und aus der Figur ersehen, daß der Mond als Neumond stets in der Mitte des innerhalb der Erdbahn gelegenen Theils seiner Bahn sich befindet, und darum der Sonne näher stehen muß als die Erde; daß er ferner als Vollmond in der Mitte des außerhalb der Erdbahn liegenden Theiles seiner Bahn steht, und deshalb eine größere Entfernung von der Sonne hat als die Erde, und daß er endlich in den Vierteln oder in den Quadraturen sich mit der Erde in etwa gleichen Abständen von der Sonne befindet.

Daß trotz der eigenthümlichen Form der wirklichen Mondbahn diese, auf den Himmel projicirt, als ein größter Kreis erscheinen muß, wird kaum noch der Erwähnung bedürfen. Indem nämlich die von der Erde zum Monde gehenden Gesichtslinien während eines Monats ihre Richtung um volle 360° ändern, müssen alle scheinbaren Mondörter am Himmel in einem größten Kreise liegen, den wir als Mondbahn kennen.

3. **Verschiedene fortschreitende Geschwindigkeit des Mondes.** Aus der Figur ist hinsichtlich der fortschreitenden Geschwindigkeit des Mondes noch Folgendes leicht zu erkennen. Wenn zur Zeit des ersten Viertels die Erde in *d*, der Mond in *r* steht, so ist dieser gleichsam hinter der von *E* nach *E'* sich bewegenden Erde zurück, und zwar um ein Stück *dr*, das etwa gleich seiner Entfernung von der Erde, also = 50000 Mln. ist. Während aber die Erde von *d* bis *k* fortschreitet, eilt der sie begleitende Mond ihr um ein ebenso großes Stück, *kw*, voran. Er hat also einen größeren Weg im Raume zurückgelegt als die Erde; denn seine Geschwindigkeit war die Summe der der Erde und seiner eigenen. Wenn hingegen der Mond vom letzten Viertel durch Neumond bis zum ersten Viertel den innerhalb der Erdbahn liegenden Theil seiner Bahn beschreibt, so ist die Richtung seiner Bewegung der Richtung der um die Sonne kreisenden Erde entgegengesetzt. Wenn der Mond als letztes Viertel der Erde voraus ist, so ist er als erstes Viertel hinter ihr zurück. Seine Bewegung ist also innerhalb der Erdbahn nur die Differenz der Bewegung der Erde und seiner eigenen. Es ist darum der innerhalb der Erdbahn liegende Theil der Mondbahn stets etwa 100000 Mln. kürzer, als der außerhalb derselben sich befindende.

Bezieht man die Bewegung des Mondes auf den Centralkörper, die Erde, oder denkt man sich die letztere ruhend, so ist die Mondbahn nicht, wie bisher angenommen wurde, ein Kreis, sondern eine Ellipse, die indessen weit bedeutender, mehr als $3^1/_5$mal so stark, von einem Kreise abweicht als die Erdbahn; denn die Excentricität derselben ist = 0,05490 der halben großen Achse (= 2844 geogr. Mln.). Durch diesen Umstand wird jedoch das, was wir bisher über den Mond gesagt haben, nur unwesentlich modificirt und behält im allgemeinen seine Giltigkeit.

4. **Veränderlichkeit der Entfernung und Geschwindigkeit des Mondes.** Wegen der großen Excentricität der Bahn (sie ist mehr als $^1/_{20}$, während die der Erdbahn etwa $^1/_{60}$ ist) muß die Entfernung des Mondes von der Erde und die dadurch bedingte Geschwindigkeit in seiner Bahn einem bedeutenden Wechsel unterliegen. So beträgt die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde oder die halbe große Achse seiner Bahn 51804 Mln., die kleinste dagegen in dem Punkte der Erdnähe oder im Perigäum nur 48963 Mln., und die größte im Punkte der Erdferne oder im Apogäum 54645 Mln. Diese veränderliche Entfernung verräth sich einmal in der veränderlichen scheinbaren Größe des Mondes. Es schwankt dieselbe zwischen 29′ 22″ und 33′ 31″, während ihr mittlerer Werth = 31′ 3″,38 beträgt, woraus sich der wahre Durchmesser des Mondes zu 469 geogr. Mln. ergiebt. Außerdem aber giebt sich die ungleiche Entfernung des Mondes von der Erde in der dieser Entfernung entsprechenden ungleichmäßigen Geschwindigkeit zu erkennen; diese ist am größten in dem Perigäum, wo sie stündlich 0°,6176, am kleinsten im Apogäum, wo sie in derselben Zeit nur 0°,493 beträgt, von welcher Ungleichheit sich schon die Alten überzeugt hatten, und welche sie in ihrer Weise zu erklären versuchten, wie wir später näher hören werden.

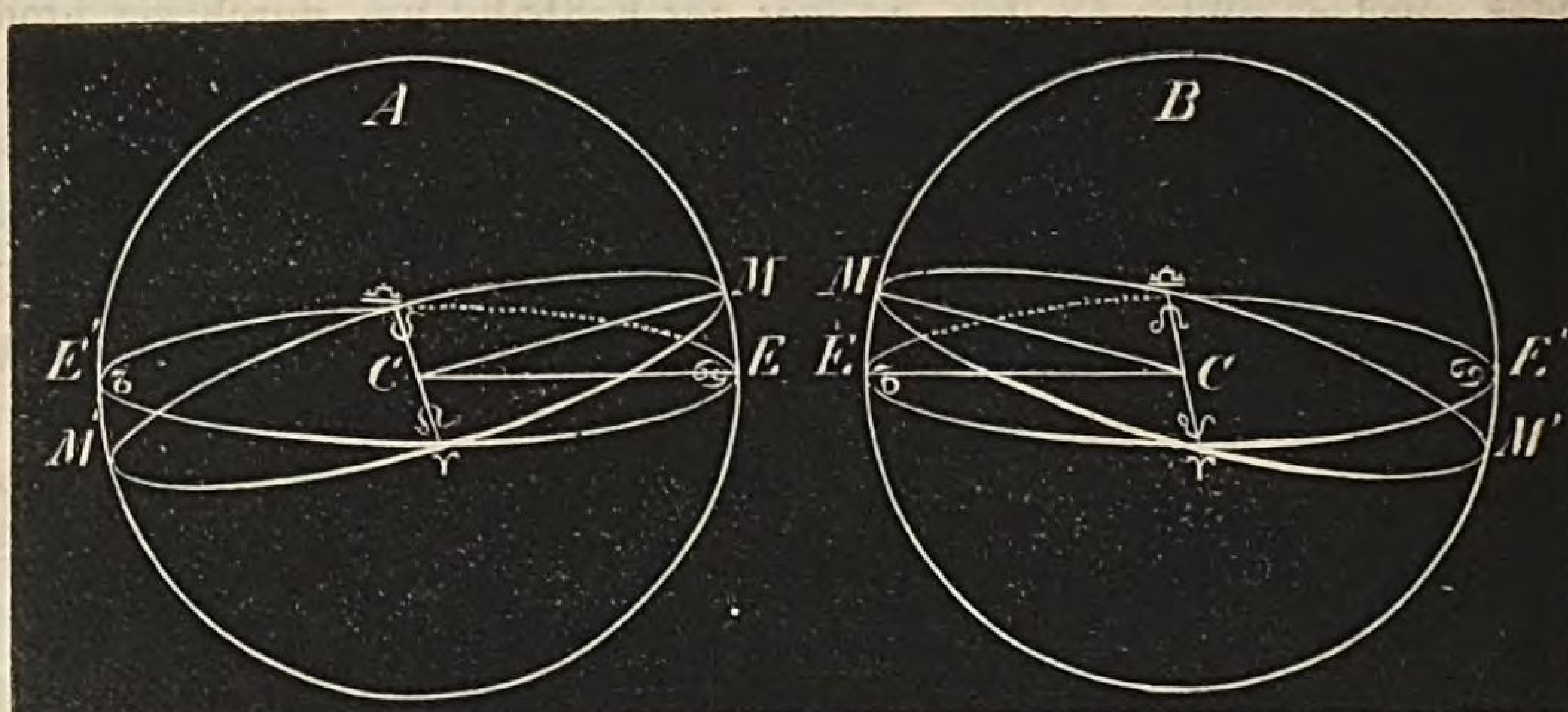
5. **Lage der Mondbahn zur Ekliptik. Knoten.** Was die Lage der Mondbahn betrifft, so fällt ihre Ebene nicht mit der der Ekliptik zusammen, sondern sie weicht von dieser gegenwärtig um einen Winkel von 5° 8′ 49″ ab, kann sich aber im Laufe der Zeit bis auf 5° vermindern und bis auf 5° 18′ vermehren. Der Mond muß daher am Himmel eine Bahn zu durchlaufen scheinen, die in ihrer Lage um den angegebenen Winkel von der Ekliptik verschieden ist. Welche Folgen dies für die Höhe des Mondes zur Zeit seiner oberen Culmination hat, ist bereits S. 53 ausführlich erörtert worden. Die gerade Linie, in welcher die Ebene der Mondbahn die der Erdbahn durchschneidet, ist die bekannte Knotenlinie, die man sich bis zu dem Himmel verlängert zu denken hat; ihre Endpunkte aber sind die Knoten der Mondbahn, die als auf- und absteigender Knoten, ☊ und ☋, unterschieden werden. Wenn der Mond sich in einem der Knoten befindet, indem er die Ebene der Erdbahn passirt, muß er natürlich auch scheinbar durch die Ekliptik gehen; passirt er den aufsteigenden Knoten, so erhebt er sich über die Ekliptik, schreitet er durch den absteigenden Knoten, so senkt er sich unter dieselbe hinab.

6. **Bewegung der Knotenlinie.** Die Knotenlinie behält indessen, wie schon an einem anderen Orte (S. 52) gesagt worden, nicht dieselbe Lage im Raume bei, sondern sie verändert dieselbe in 18 Jahren 218 Tg. 21 Stdn. 22 Min. 46 Sek. gegen die Ordnung der Zeichen, von O. nach W., um volle 360°. In der genannten Zeit sind also die beiden Knoten scheinbar durch die ganze Ekliptik gewandert, und die jährliche Aenderung der Lage derselben beträgt 19°,3426, um welche Größe sich also die Länge der Knoten jährlich vermindert. Die Knoten rücken also dem Monde entgegen. Durch

diese Drehung der Knotenlinie werden die Punkte der größten nördlichen und südlichen Breite allmählich anderen Gegenden des Weltenraumes zugekehrt, und sie wandern in derselben Zeit, wie die Knoten, am Himmel herum.

7. **Veranschaulichung dieser Bewegung.** Den Verlauf der Sache kann man sich leicht durch zwei Reifen veranschaulichen, von denen der eine die Ekliptik, der andere die auf den Himmel projicirte Mondbahn vorstellt, und welche um einen geringen Winkel gegen einander geneigt sind, etwa wie es *Fig. 63 A* und *B* zeigt, in welcher *EE'* die Ekliptik mit ihren bekannten Zeichen, *MM'* die Mondbahn, ☊ ☋ die Knotenlinie, und der Kreis in der Ebene des Papiers die Himmelssphäre bedeuten soll.

Fig. 63.



In *A* ist die Lage der Mondbahn so dargestellt, daß der aufsteigende Knoten ☊ mit dem Frühlingspunkte ♈, der absteigende Knoten ☋ mit dem Herbstpunkte ♎ zusammenfällt, wie es zu Anfang des Jahres 1857 der Fall gewesen ist. Dreht man nun in Gedanken die Mondbahn *MM'*, so daß sie mit der Ekliptik stets denselben Winkel *MCE* bildet, gegen die Ordnung der Zeichen herum, so wird nach $^1/_4$ Drehung die Knotenlinie mit der Solstitiallinie ♋ ♑ zusammenfallen, der Punkt der größten nördlichen Breite, *M*, im Vordergrunde, der der größten südlichen Breite, *M'*, im Hintergrunde der Zeichnung liegen.

Nach einer halben Drehung hätte die Mondbahn die entgegengesetzte Lage von der in *Fig. 63 A* dargestellten, wie es *Fig. 63 B* zeigt. Die Lage der Knotenlinie hätte sich um 180° geändert; der aufsteigende Knoten läge in ♎, der absteigende in ♈ u. s. w. In dieser Weise würden die Knoten bei fortgesetzter Drehung allmählich die ganze Ekliptik durchlaufen, wie es in Wahrheit in fast 19 Jahren geschieht.

8. **Nochmalige Darstellung der Sache.** Einige Schwierigkeiten für die Vorstellung in Beziehung auf die Bewegung der Knotenlinie dürfte der Umstand herbeiführen, daß die wirkliche Mondbahn wegen der fortschreitenden Erde nicht, wie in der vorigen Figur, eine geschlossene, sondern eine in eine Spirale ausgezogene krumme Linie ist. Um die Vorstellung zu unterstützen, ist die folgende *Fig. 64* von mir nach dem Kalender construirt worden. Es bedeutet in derselben der Halb-

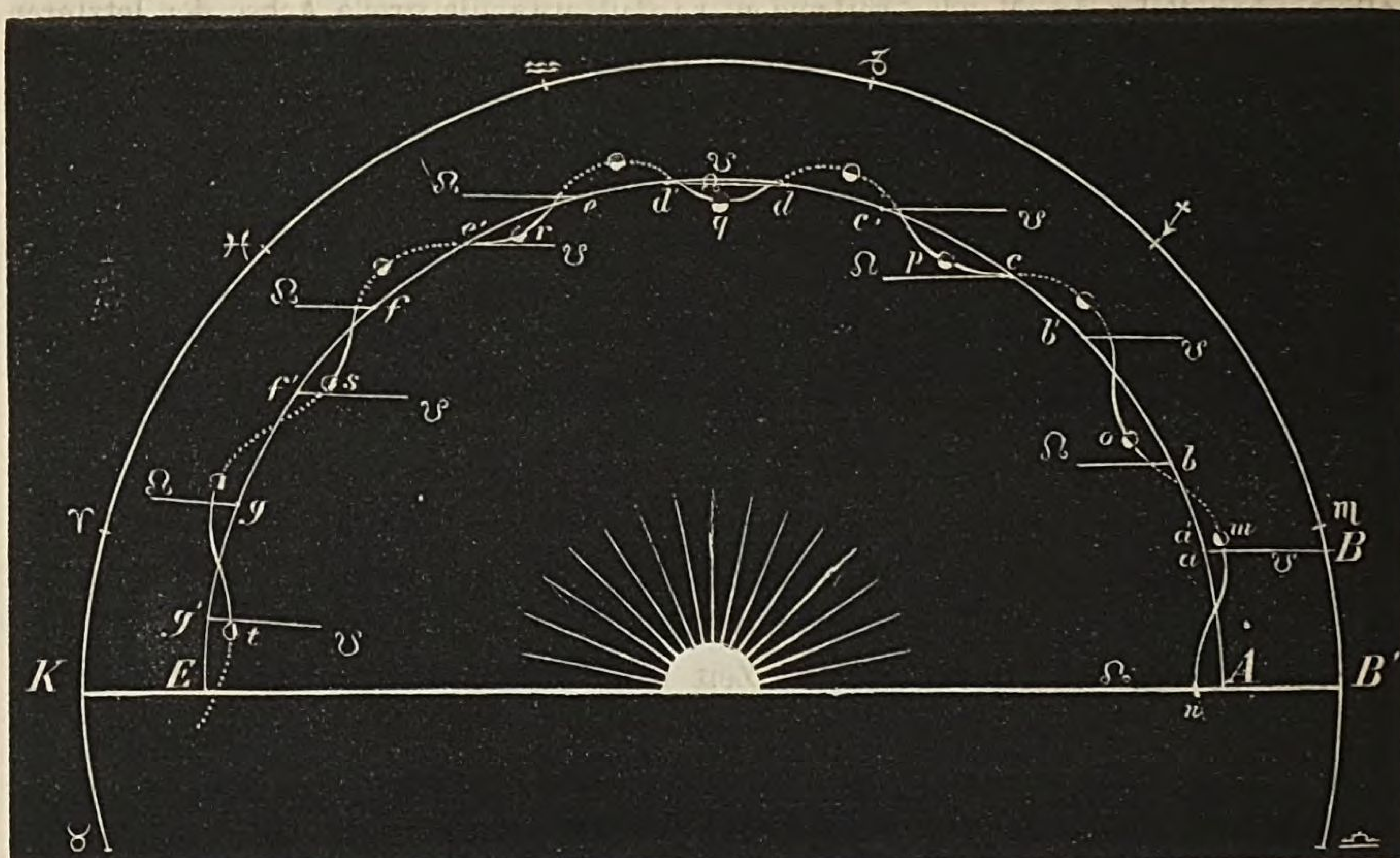
kreis AE den von der Erde in einem halben Jahre, vom 5. April bis zum 5. October 1856 durchlaufenen Theil der Erdbahn, und der äußerste Kreisbogen sei die Projection dieses Theils auf den in unermeßlicher Entfernung zu denkenden Himmel, also ein Theil der Ekliptik mit den entsprechenden Zeichen. Die die Erdbahn umschlingende Curve ist der in der genannten Zeit von dem Monde durchlaufene Theil seiner Bahn, deren innerhalb der Erdbahn liegende Theile wegen der Beschränktheit des Raumes nach der Sonne zu convex haben gezeichnet werden müssen. Es ist in der Figur die Neigung der Mondbahn zur Ekliptik berücksichtigt worden, und sollen die stärkeren und ganz ausgezogenen Theile der Mondbahn als über, die punktirten als unter der Ebene des Papiers liegend, welche Ebene die der Erdbahn bedeuten mag, vorgestellt werden. Wo die beiden Theile einander berühren, sind die Knoten der Mondbahn, also die Punkte, wo der Mond durch die Ebene der Erdbahn geht. Diese Punkte sind markirt worden, und es sollen die von der Erdbahn aus durch sie hindurch gezogenen geraden Linien die jedesmalige Lage der Knotenlinie bezeichnen.

Am 5. April stand die Erde im Punkte A ihrer Bahn, und der an diesem Tage eintretende Neumond n gerade in dem aufsteigenden Knoten. Der Mond stand in Conjunction mit der Sonne, und die verlängert gedachte Knotenlinie ging gerade durch die Sonne. Der Mond verursachte auf diese Weise die für das genannte Datum im Kalender angekündigte Sonnenfinsternis. Der geocentrische Ort des aufsteigenden Knotens war in dem Punkte K der Ekliptik, etwa in der Mitte des Zeichens des Widders, an welchem Orte der Mond am genannten Tage scheinbar durch die Ekliptik ging.

Nach 14 Tagen, am 20. April, stand die Erde in a' und der Mond als Vollmond der Sonne gegenüber in m. Aber bereits am Tage vorher, am 19. April, ging der Mond durch den absteigenden Knoten. Dieser liegt am Himmel 180° vom aufsteigenden Knoten entfernt; allein vom 5. bis zum 20. April war wegen der fortschreitenden Erde die Sonne bereits etwa 15° nach O. in der Ekliptik weiter gerückt. Wenn nun der Vollmond am 20. April der Sonne gerade gegenüber stehen sollte, so mußte er den Punkt, der dem Sonnenorte am 5. April gegenüber lag, d. i. den absteigenden Knoten, bereits am Tage vorher passirt haben, als die Erde in a war. Die Knotenlinie hatte also die Lage der Linie a☋, und diese geht in der Zeichnung nicht durch die Sonne. Aus dem Gesagten ergiebt sich, daß die Knotenlinie wegen der fortschreitenden Erde eigentlich in zwei mehrere millionen Meilen von einander entfernte gerade Linien zerfällt. Allein da wegen der unermeßlichen Entfernung der Fixsterne von der Erde selbst der Durchmesser der Erdbahn als ein Punkt angesehen werden kann, so können und müssen diese beiden Linien so lange als zusammenfallend und die eine als die Verlängerung der anderen angesehen werden, als sie mit einander parallel bleiben. Setzen wir dies von den Linien A☊ und a☋ voraus, so fällt Punkt B mit dem Punkte B' zusammen, oder der absteigende Knoten ist in der Mitte des Zeichens der Wage. Aus dem oben angegebenen Grunde kann auch die Knotenlinie als stets durch die Sonne gehend angesehen werden.

Der vorausgesetzte Parallelismus der beiden Theile der Knotenlinie findet indessen in Wirklichkeit nicht statt, indem der Mond mit jedem Monate früher durch die Ebene der Erdbahn geht, und es ist in der Figur auch die Abweichung der Knotenlinie von ihrer ersten Richtung gegen die Ordnung der Zeichen zu erkennen, wenn man die Richtung von b☊ und b'☋, c☊ und c'☋ u. s. w. bis g☊ und g'☋ mit einander vergleicht. Namentlich bei den letzteren Linien, welche die Lage der

Fig. 64.



Knotenlinie am 16. resp. 29. September 1856 bezeichnen, ist die Abweichung gegen die derselben am 5. April, *A*☊ oder ihre Verlängerung *AE*, deutlich zu ersehen.

Da die jährliche Abweichung der Knotenlinie 19°,3426 beträgt, so würde in *g'* bereits eine Abweichung der Knotenlinie gegen *AE* von mehr denn 9° vorhanden sein, der absteigende Knoten also um soviel Grade im Zeichen der Wage zurückgegangen sein und nahe dem Anfange dieses Zeichens liegen, wogegen der aufsteigende Knoten dem Anfangspunkte des Widders sich genähert hätte. Wegen dieser rückgängigen Bewegung der Knotenlinie von O. nach W. rücken die Knoten dem von W. nach O. sich in seiner Bahn bewegenden Monde, und zwar in jedem Monate etwa $1^1/_2{}^0$, entgegen. Es hat daher der Mond, um wieder zu demselben Knoten zurückzukehren, nicht volle 360° zu durchlaufen.

9. **Stellung der Mondphasen zu den Knoten.** Aus *Fig.* 64 ist noch zu ersehen, daß eine gewisse Phase des Mondes sich mit jedem Monate mehr und mehr gegen einen bestimmten Knoten verschiebt. So erschien der Neumond *n* von *A* aus am 5. April 1856 gerade im aufsteigenden Knoten; im nächsten Monat, in *o*, hatte er diesen Knoten bereits passirt; im folgenden Monat, in *p*, war die Entfernung vom Knoten noch beträchtlicher, und nach 3 Monaten, in *q*, ereignete er sich fast in der Mitte zwischen beiden Knoten. In den folgenden 2 Monaten, in *r* und *s*, näherte sich der Neumond dem absteigenden Knoten, und im 6. Monat, von Anfang an gerechnet, in *t*, hatte er bereits diesen Knoten überschritten, stand aber noch nahe bei demselben u. s. w.

Nach einem halben Jahre ereignet sich also der Neumond in dem entgegengesetzten Knoten, als in welchem er zu Anfang des Halbjahrs stattfand. Diese Thatsache ist wichtig für das Verständnis der Finsternisse an Sonne und Mond, und wir werden bei der Besprechung dieser noch einmal darauf zurückkommen.

10. **Bewegung der Apsidenlinie.** Nach dem Bisherigen könnte man meinen,

als sei mit der Bewegung der Knotenlinie auch gleichzeitig eine Bewegung der ganzen elliptischen Bahn des Mondes verbunden, so daß etwa die große Achse der letzteren in gleicher Zeit mit der Knotenlinie eine Umdrehung vollendete; namentlich könnte dazu *Fig. 63* Veranlassung geben. Dem ist aber nicht so, sondern die große Achse der Mondbahn oder die Apsidenlinie hat eine von der Bewegung der Knotenlinie ganz unabhängige Bewegung. Sie bewegt sich nämlich ziemlich rasch in der Reihenfolge der Zeichen oder von W. nach O. und vollendet schon in 8 Jahren 310 Tg. 13 Stdn. 48 Min. 53 Sek. einen ganzen Umlauf am Himmel. In dieser Zeit sind also die Punkte der Erdnähe und der Erdferne allen Gegenden des Himmels zugewandt gewesen. Die Länge dieser Punkte nimmt jährlich, wie eine einfache Rechnung ergiebt, um 40°,6488 in Beziehung auf die Fixsterne zu; doch sind diese angegebenen Zahlen nicht für alle Zeiten ganz unveränderlich; sie haben nur für die Mitte unseres Jahrhunderts Giltigkeit, und sind kleinen Aenderungen unterworfen.

11. Verschiedene Revolutionen des Mondes. Die Zeit, in welcher der Mond gerade einen ganzen Umlauf oder 360° vollendet, beträgt 27 Tg. 7 Stdn. 43 Min. 11,5 Sek., welche Zeit man einen siderischen Monat zu nennen pflegt, da innerhalb derselben der Mond wieder zu demselben Fixsterne zurückkehrt. Von diesem Monate unterscheidet man wohl diejenige Zeit, nach welcher der Mond wieder zu dem Frühlingspunkte zurückkehrt, und nennt diese Zeit einen tropischen Monat. Er ist, da der Frühlingspunkt eine langsame rückläufige Bewegung hat (S. 181), etwas kürzer als der siderische Monat; er hat eine Dauer von 27 Tg. 7 Stdn. 43 Min. 4,7 Sek. Die Zeit, innerhalb welcher der Mond wieder zu demselben Knoten zurückkehrt, wird ein Drachenmonat oder ein drakonitischer Monat genannt. Wegen rückläufiger Bewegung der Knoten ist er ebenfalls kürzer als der siderische Monat; er hat eine Dauer von 27 Tg. 5 Stdn. 5 Min. 36 Sek.

Unter dem anomalistischen Monat versteht man die Zeit, welche der Mond gebraucht, um wieder zum Perigäum zuzückzukehren. Da die Absidenlinie sich rechtläufig bewegt, so ist er länger als der siderische Monat, nämlich = 27 Tg. 13 Stdn. 18 Min. 37,4 Sek.

Die längste Dauer von allen Monaten hat der synodische Monat, d. i. die Zeit, innerhalb welcher der Mond wieder zur Sonne zurückkehrt. Seine Dauer beträgt, wie bereits früher angegeben worden, 29 Tg. 12 Stdn. 44 Min. 2,9 Sek.

III. Von der Rotation des Mondes.

1. Erfahrung. Eine oberflächliche Betrachtung des Mondes genügt, um auf demselben hellere und dunklere Flecken zu unterscheiden, und in einem späteren Abschnitte werden wir erfahren, was man mit Hilfe guter Fernröhre über die Natur und nähere Beschaffenheit derselben zu sagen weiß. Schon mit unbewaffneten Augen bemerkt man bei einiger Aufmerksamkeit, daß die Gruppirung der Flecken zu allen Zeiten dieselbe ist; die Betrachtung des Mondes

durch ein Fernrohr aber verschafft die Gewißheit, daß wir stets dieselben Flecken sehen, wenngleich dieselben in den verschiedenen Phasen wegen veränderlicher Beleuchtung einen verschiedenen Anblick gewähren. Hieraus folgt aber offenbar, daß der Mond, während er sich um die Erde bewegt, derselben stets dieselbe Seite zukehrt. Was folgt daraus für die Rotation des Mondes?

2. **Ob der Mond eine Rotation besitze.** Einige, und selbst Gelehrte, haben sie auf Grund der erwähnten Erfahrung geleugnet, Andere, wie z. B. *Newton*, sie aus demselben Grunde behauptet. Das Folgende möge dazu dienen, daß wir uns mit Sicherheit für die eine oder die andere Meinung entscheiden.

Bewege ich mich in einem Kreise um eine in dem Mittelpunkte dieses Kreises stehende Person und zwar so herum, daß ich derselben stets mein Gesicht zukehre; so habe ich mich in Beziehung auf diese Person scheinbar nicht gedreht; denn sie sah stets nur dieselbe Seite von mir. Einer außerhalb des von mir durchlaufenen Kreises stehenden Person indessen hätte ich nach einem ganzen Umgange alle Seiten meines Körpers zugewandt, und dies ist doch nur möglich, wenn ich mich in Beziehung auf diese Person einmal um mich selbst gedreht. Außerdem wäre mein Gesicht beim Umgehen der erstgedachten Person allen Wänden des etwanigen Zimmers zugekehrt gewesen, und dies hätte ich, an derselben Stelle verbleibend, nur bewirken können, wenn ich mich einmal umgedreht hätte.

Aehnliche Verhältnisse treten für den Mond ein. In Beziehung auf die Erde hat er sich scheinbar nicht gedreht; aber von einem außerhalb seiner Bahn befindlichen Standpunkte aus würden alle Seiten seiner Oberfläche gesehen werden. Außerdem werden in einem Monate alle Sterne des Himmels an den Blicken eines auf seiner Oberfläche befindlichen Beobachters vorübergezogen sein.

Man kann also dem Monde eine Achsendrehung nicht absprechen, sondern vielmehr behaupten: Der Mond dreht sich in derselben Zeit, in welcher er sich um die Erde bewegt, auch um seine Achse, oder die Zeit seiner Rotation ist der Zeit seiner siderischen Revolution gleich.

3. **Eigenthümlichkeit der Rotation der Mondes.** Allein die Achsendrehung des Mondes ist doch von der einer unter gewöhnlichen Verhältnissen rotirenden Kugel verschieden. Bei einer solchen Kugel beschreibt jeder Punkt derselben, mit Ausnahme der in der Achse liegenden, einen Kreis um einen in der Achse liegenden Punkt. Dies ist aber bei dem Monde nicht der Fall. Denn indem er um die Erde kreiset und dieser beständig dieselbe Seite zukehrt, beschreibt freilich jeder seiner Punkte einen Kreis, jedoch nicht um einen in, sondern um einen außer ihm liegenden Punkt. Es fällt die Bewegung gerade so aus, als ob der Mond ein Theil einer großen Kugel wäre mit einem Halbmesser, der seiner Entfernung von der Erde gleich ist. Der der Erde fernste Punkt macht den größten, der ihr nächste Punkt den kleinsten der durchlaufenen Kreise.

Streng genommen, bewegt sich also der Mond um eine außer ihm lie-

gende Achse. Diese Achse muß man sich durch denjenigen Brennpunkt der elliptischen Mondbahn gehend denken, in welchem die Erde nicht steht, und außerdem den Mond sich um dieselbe in der Zeit eines siderischen Monats mit gleichmäßiger Geschwindigkeit drehend vorstellen.

In derselben Weise scheint, so weit die Beobachtungen ein Urtheil zulassen, die Rotation aller Nebenplaneten vor sich zu gehen; alle scheinen ihrem Hauptplaneten stets dieselbe Seite zuzukehren und in der Zeit eines siderischen Monats sich gleichmäßig um ihre Achse zu drehen. Es scheint in der Absicht des Schöpfers gelegen zu haben, allen rotirenden Himmelskörpern Gleichmäßigkeit der Rotation zu verleihen und in dieser ein wichtiges Mittel für das Bestehen des Weltenbaues zu schaffen.

4. **Lage der Rotationsachse des Mondes und seines Aequators.** Was die genauere Lage jener außer dem Monde liegenden Achse betrifft, so steht dieselbe fast senkrecht auf der Ebene der Ekliptik; denn sie weicht kaum $1\frac{1}{2}^0$ ($1^0\ 28'\ 45''$) von der Achse der Ekliptik ab; mit der Ekiptik macht sie daher einen Winkel von $88^0\ 31'\ 15''$. Beträchtlicher ist die Abweichung der Mondachse von der senkrechten Lage in Beziehung auf die Mondbahn. Da diese gegen die Ekliptik $5^0\ 8'\ 49''$ geneigt ist, so beträgt jene Abweichung $6^0\ 37'\ 34''$, welcher Winkel aber, da die Neigung der Mondbahn zur Ekliptik veränderlich ist, bis auf $6^0\ 29'$ abnehmen und bis auf $6^0\ 47'$ anwachsen kann.

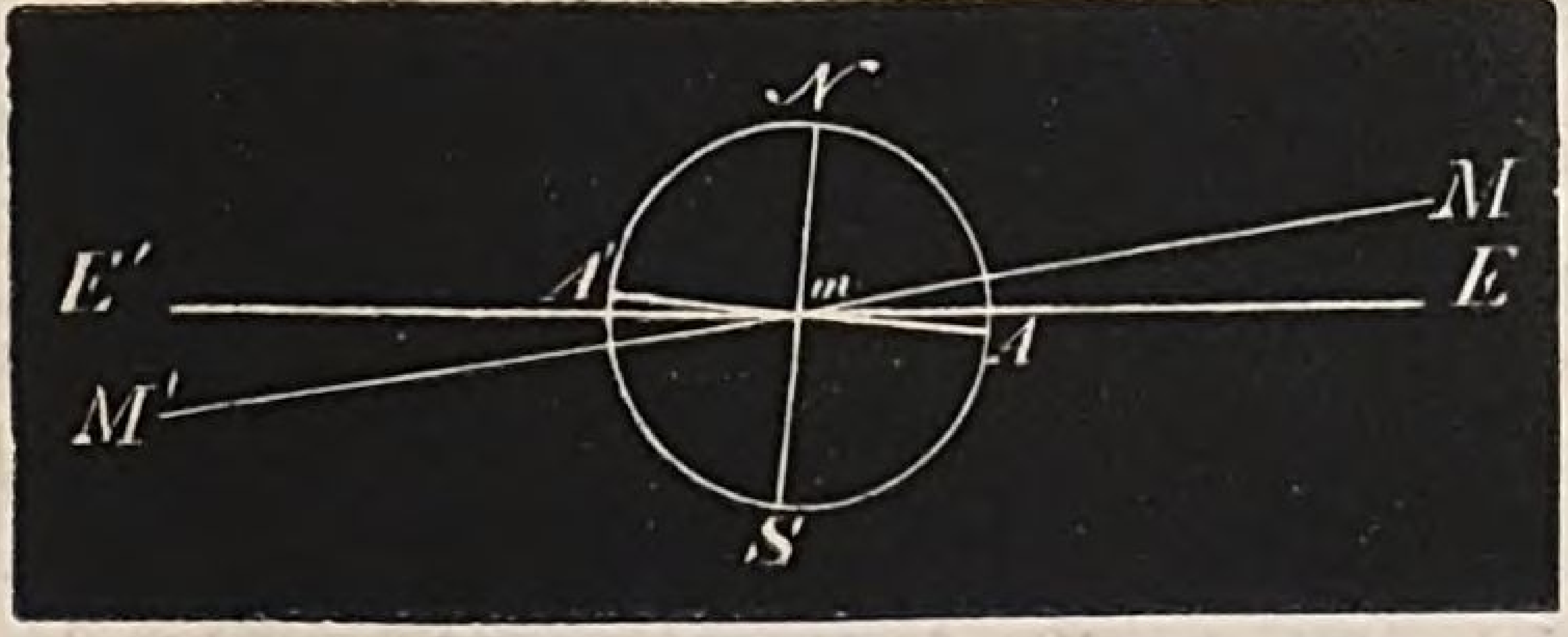
Denkt man sich parallel mit der bezeichneten durch den zweiten Brennpunkt der Mondbahn gehenden Achse eine gerade Linie durch den Mittelpunkt des Mondes, so heißt auch wohl diese gerade Linie die Achse und ihre beiden Endpunkte an der Mondoberfläche die Pole, Nord- und Südpol, des Mondes.

Ein größter Kreis des Mondes aber, der in allen Punkten 90^0 von diesen Polen entfernt ist, wird Mondäquator genannt. Dieser muß nach dem Obigen gegen die Ebene der Ekliptik um einen Winkel von $1^0\ 28'\ 45''$, gegen die Ebene der Mondbahn von $6^0\ 29'$ resp. $6^0\ 47'$ geneigt sein.

5. **Veranschaulichung.** Die gegenseitige Lage der genannten Größen soll *Fig. 65* veranschaulichen.

Es bezeichne EE' einen Theil der Erdbahn, MM' der Mondbahn und Kreis m den Mond. Die Achse des Mondes, NS, macht mit der Ekliptik den Winkel $NmE = 88^0\ 31'\ 15''$; die Neigung des Mondäquators AA' gegen die Ekliptik, Winkel $E\,m\,A$, ist $= 1^0\ 28'\ 45''$. Da Winkel $M\,m\,E$, d. i. die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik, $= 5^0\ 8'49''$, so ist die Neigung des Mondäquators gegen seine Bahn oder Winkel $MmA = 5^0\ 8'\ 49'' + 1^0\ 28'\ 45'' = 6^0\ 37'\ 34''$.

Fig. 65.



Wie in der Figur dargestellt ist, ist die Ekliptik stets als zwischen der Mondbahn und dem Mondäquator liegend zu denken. Zugleich zeigt die Figur noch, was ebenfalls in Wirklichkeit stattfindet, daß der absteigende Knoten des Mondäquators stets mit dem aufsteigenden Knoten der Mondbahn zusammenfällt.

6. **Von der Libration (Schwankung) des Mondes.** Wie bei der Erde eine gleichmäßige Rotation neben ungleichmäßiger Bewegung in ihrer Bahn besteht, so auch beim Monde. Seine Rotation erfolgt gleichmäßig, seine Revolution wegen der elliptischen Form seiner Bahn ungleichmäßig. Beide Bewegungen sind unabhängig von einander. Hieraus aber, sowie aus der Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik und aus der Neigung der Mondachse gegen die Bahn erklären sich einige Erscheinungen, die man bei aufmerksamer Beobachtung des Mondes mit einem Fernrohre ziemlich leicht wahrnimmt. Es ist nämlich nicht streng wahr, daß der Mond uns genau dieselbe Hälfte zukehrt, indem der Punkt, der einmal den Mittelpunkt der Mondscheibe bildet, nicht beständig der Mittelpunkt bleibt, sondern bald nach N. und S., bald nach O. und W. rückt, wie wenn der Mond ein wenig schwankte. Wir wollen versuchen, die Entstehung dieser Schwankung oder Libration des Mondes uns klar zu machen.

Bewegte sich der Mond mit gleichmäßiger Geschwindigkeit um die Erde; fiele ferner die Mondbahn mit der Ekliptik zusammen; und stände endlich die Achse des Mondes senkrecht auf der Ekliptik: so müßte offenbar unser Blick von Pol zu Pol des Mondes reichen und beständig derselbe Punkt des Mondäquators den scheinbaren Mittelpunkt der Mondscheibe für uns bilden.

a) Libration in Breite. Nun weicht aber die Mondbahn von der Erdbahn um 5° 8′ 49″, der Mondäquator von der Ebene seiner Bahn 6° 29′ bis 6° 47′ ab; darum neigt sich bald die nördliche, bald die südliche Halbkugel des Mondes der Erde zu, wie es ähnlich die Erde in Beziehung auf die Sonne thut. Steht der Mond in dem Mittelpunkte der größten nördlichen Breite seiner Bahn, so reicht unser Blick mehr über den Südpol, befindet er sich dagegen in dem Punkte der größten südlichen Breite, mehr über den Nordpol des Mondes hinaus. Auf diese Weise bleibt der einmalige Mittelpunkt der Mondscheibe nicht immer der Mittelpunkt, sondern ein bald südlicher, bald nördlich gelegener nimmt seine Stelle ein. Da hierdurch eine Verschiebung aller Mondörter im Sinne der geographischen Breite erfolgt, so hat man diese eigenthümliche Schwankung des Mondes die Libration in Breite genannt. Sie kann auf jeder Halbkugel bis auf 6° 47′ gehen.

b) Libration in Länge. Eine Verschiebung der Mondörter in einem andern Sinne bewirkt der Umstand, daß neben der gleichmäßigen Rotation eine ungleichmäßige Revolution stattfindet. Vorher sei noch daran erinnert, daß beide Bewegungen von W. nach O. gerichtet sind. Ist nämlich die Geschwindigkeit des Mondes in seiner Bahn größer als die mittlere, so überflügelt sie die rotirende Geschwindigkeit, und es erscheinen an dem westlichen (rechten) Mondrande Theile der der Erde abgewandten Mondhälfte. Ein westlicherer Punkt der Mondscheibe erscheint als Mittelpunkt derselben, und alle Flecken scheinen nach O. gerückt zu sein. Wenn dagegen die Bahngeschwindigkeit kleiner als die mittlere Geschwindigkeit ist, so überwiegt die Rotationsgeschwindigkeit, und es werden an der Ostseite des Mondes neue Theile der hinteren Mondseite sichtbar. Ein östlicherer Punkt der Mondscheibe wird

Mittelpunkt derselben, und alle Flecken erscheinen nach W. gerückt. Diese Schwankung des Mondes von O. nach W. und umgekehrt wird, da sie im Sinne der geographischen Länge erfolgt, die Libration in Länge genannt. Sie kann auf jeder Seite des Mondes bis auf 7° 53′ gehen und ist am besten an den Enden des Mondäquators zu beobachten.

c) Die tägliche Libration. Von diesen beiden Librationen des Mondes pflegt man noch die tägliche Libration zu unterscheiden. Da nämlich der Erddurchmesser in Beziehung auf die Entfernung des Mondes von der Erde keine verschwindend kleine Größe ist, so erscheint an einem und demselben Tage von verschiedenen Standpunkten auf der Erde aus nicht derselbe Punkt der Mondscheibe als Mittelpunkt derselben, und die hierdurch bewirkte Verschiebung aller Mondörter ist unter dem obigen Namen bekannt.

Die Librationen gewähren uns den Vortheil, daß wir von dem Monde, trotzdem er uns beständig dieselbe Seite zuwendet, doch noch $^1/_{20}$ der abgekehrten Seite, wenn auch unter ungünstigen Bedingungen, am Rande, zu gesichte bekommen, so daß im ganzen fast $^4/_7$ der ganzen Mondoberfläche allmählich sichtbar werden und nur $^3/_7$ derselben beständig ungesehen bleiben. Sie erschweren aber die Darstellung des Mondes als Mondkarte, und man pflegt auf diesen Karten die mittlere Stellung des Mondes zur Darstellung zu bringen.

7. **Von den Tageszeiten des Mondes.** Der Mond erhält sein Licht von der Sonne; für den Wechsel der Tageszeiten auf ihm ist daher die Zeit maßgebend, in welcher er wieder dieselbe Stellung zur Sonne annimmt, und dies geschieht nach 29 Tg. 12 Stdn. 44 Min. 2,9 Sek., d. i. nach einem synodischen Monate. In dieser Zeit müssen Tag und Nacht mit einander wechseln, und da auf dem Aequator des Mondes beide beständig einander gleich sind, so müssen sie je eine Länge von $14^3/_4$ unserer Tage, genauer von 14 Tg. 18 Stdn. 22 Min. 1,45 Sek. = 354 Stdn. 22 Min. 1,45 Sek. haben, und diese Dauer wird sogar durch den Umstand, daß die Sonne wegen ihrer Größe mehr als die Hälfte der Mondkugel erleuchtet, um 2 × 16 Min. 58 Sek. = 33 Min. 56 Sek. verlängert. Aeußerst langsam muß sich daher auf dem Monde die Sonne über den Horizont erheben und wieder zu ihm herabsinken. In jedem unserer Tage schreitet sie durch einen Bogen von nur 12° 12′ fort.

Die Nächte der der Erde zugewandten Hälfte sind sämtlich erdhell, und die große Erdscheibe, fast 14 mal so groß vom Monde aus, als uns der Vollmond erscheint, muß eine wahre Zierde des Himmels sein und als Vollerde eine fast 14 mal so große Helligkeit als für die Erde der Vollmond erzeugen, dieselbe Reflexionsfähigkeit der Mondoberfläche vorausgesetzt. Allein dieses Vortheils werden nur die der Erde zugekehrten Theile des Mondes theilhaftig. Die Nächte der hinteren Seite des Mondes sind sämtlich nur sternenhell; doch mag ein herrlicher Sternenhimmel die etwanigen Bewohner des Mondes für den Mangel des Erdlichtes schadlos halten.

8. **Von den Jahreszeiten des Mondes.** Der Wechsel unserer Jahreszeiten ist bekanntlich von der Schiefe der Ekliptik oder von dem Winkel abhängig, um welchen der Erdäquator gegen die Erdbahn geneigt ist. Für den

Mond beträgt die entsprechende Neigung seines Aequators zu seiner Bahn, wie wir gesehen haben, 6° 37′ 34″. Wäre nun die Erde seine Sonne, so würde dieselbe, wie aus der Betrachtung der in Rede stehenden Verhältnisse bei der Erde klar geworden sein wird, sich etwa $6\frac{1}{2}°$ abwechselnd nach N. und nach S. vom Zenithe der Aequator-Bewohner entfernen. Allein es ist nicht die Erde, sondern die in der Ebene der Ekliptik stehende Sonne die Hauptquelle des Lichtes und der Wärme für den Mond, und darum ist, mit sehr geringen Aenderungen, der Winkel, welchen der Mondäquator mit der Ebene der Ekliptik macht, für die Größe der Zonen, den Wechsel der Jahreszeiten, die damit zusammenhangenden Tageslängen u. s. w. maßgebend. Dieser Winkel aber beträgt kaum $1\frac{1}{2}°$, und deshalb kann die Sonne für die etwanigen Aequator-Bewohner des Mondes zu Mittag sich nur unbedeutend vom Zenithe entfernen.

Die ganze heiße Zone des Mondes hat eine Breite von kaum 3°, und noch kleiner sind die kalten Zonen desselben, da die Polarkreise nur $1\frac{1}{2}°$ von den Polen abstehen. Der Mond ist fast ein Land des ewigen Frühlings, und ein entschiedener Wechsel der Jahreszeiten findet nicht statt. Die Tage sind fast das ganze Jahr hindurch von gleicher Länge; erst gegen die Pole zu tritt ein bedeutender Unterschied in dieser Beziehung hervor.

Die Dauer des langen Tages ist auf dem Monde zugleich die des kurzen Jahres, wenn anders man die Zeit eines synodischen Umlaufs für ihn so nennen will.

Diese Andeutungen mögen hier genügen; aus ihnen aber geht schon hervor, daß auf dem Monde Verhältnisse bestehen müssen, die von den unsrigen auf der Erde außerordentlich verschieden sind. Einiges Nähere darüber wird in dem folgenden Abschnitte des Buches mitgetheilt werden.

IV. Von den Finsternissen.

Eigenthümliche Erscheinungen, die in früheren Zeiten in nicht wenigen Leuten Furcht oder doch eine gewisse Bangigkeit hervorriefen, und die auch wohl jetzt noch von uncivilisirten Völkern mit großer Besorgnis angesehen werden, sind die Mond- und Sonnenfinsternisse. Der Schleier des Geheimnisses, mit dem die sie erzeugenden Ursachen bedeckt waren, ließ sie als Unheil verkündende Begebenheiten erscheinen. Wie ganz anders ist dies jetzt, nachdem jener Schleier gehoben und die Erscheinung in ihren Ursachen und in ihrer Einfachheit und Natürlichkeit erkannt worden, und diese Erkenntnis, wenigstens in gewissem Grade, fast Gemeingut ganzer Nationen ist. Es fällt bei uns so leicht niemand ein, sich vor ihnen zu fürchten, wenn auch mancher noch etwas zweifelhaft darüber den Kopf schüttelt, wie es möglich sei, den Eintritt solcher Ereignisse mit einer so großen Genauigkeit schon im voraus zu bestimmen, wie dies wirklich von den Astronomen geschieht. Die folgen-

den Auseinandersetzungen sollen dazu dienen, uns mit der Sache vertrauter zu machen.

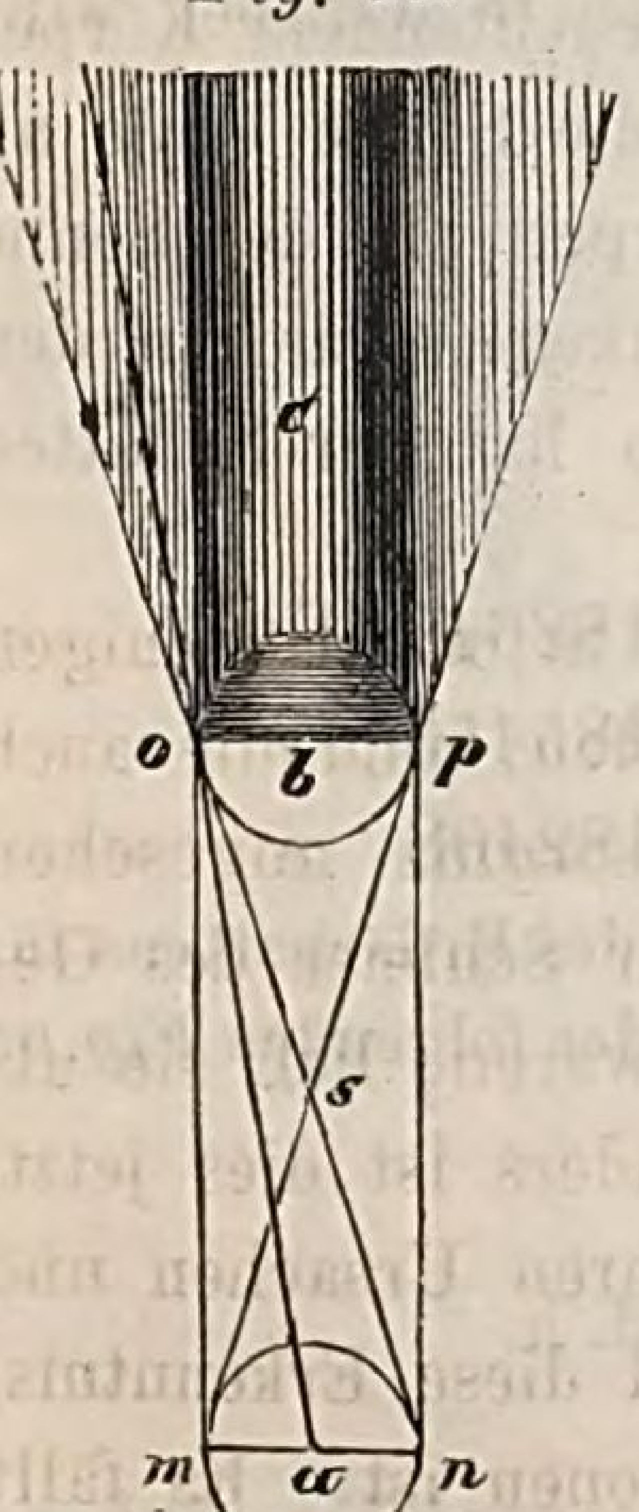
1. **Verschiedene Gestalt des Schattens.** Jeder von einem Lichte beschienene Körper wirft, wie jeder aus Erfahrung weiß, einen Schatten, und wir haben bereits gelernt, daß darunter derjenige dem Lichte abgewandte Raum zu verstehen ist, in welchen die Lichtstrahlen nicht zu dringen vermögen. Dieser dunkle Raum ist vorhanden, wenn er auch nicht wahrgenommen wird; er wird aber sichtbar, wenn ein anderer erleuchteter Körper in diesen Raum taucht. Es bildet sich in diesem Falle auf diesem Körper das Bild des Gegenstandes ab, so daß aus der Gestalt dieses Bildes auf die Gestalt des Körpers geschlossen werden kann.

Es ist für die Gestalt des Schattens die Gestalt des erleuchteten, aber auch die des leuchtenden Gegenstandes maßgebend. Nehmen wir zwei Kugeln an, von denen die eine von der andern beschienen wird. Das Bild des Schattens einer Kugel auf einer die Achse desselben senkrecht durchschneidenden Ebene ist ein Kreis; die Gestalt des ganzen Schattenraumes aber ist von dem Größenverhältnis beider Kugeln abhängig. Es können in dieser Beziehung drei Fälle unterschieden werden, und zwar:

1) die leuchtende und die erleuchtete Kugel sind gleich groß;
2) die leuchtende Kugel ist kleiner als die erleuchtete;
3) die leuchtende Kugel ist größer als die erleuchtete.

Zur Veranschaulichung der in diesen Fällen eintretenden Verhältnisse mögen die folgenden Figuren dienen.

Fig. 66.

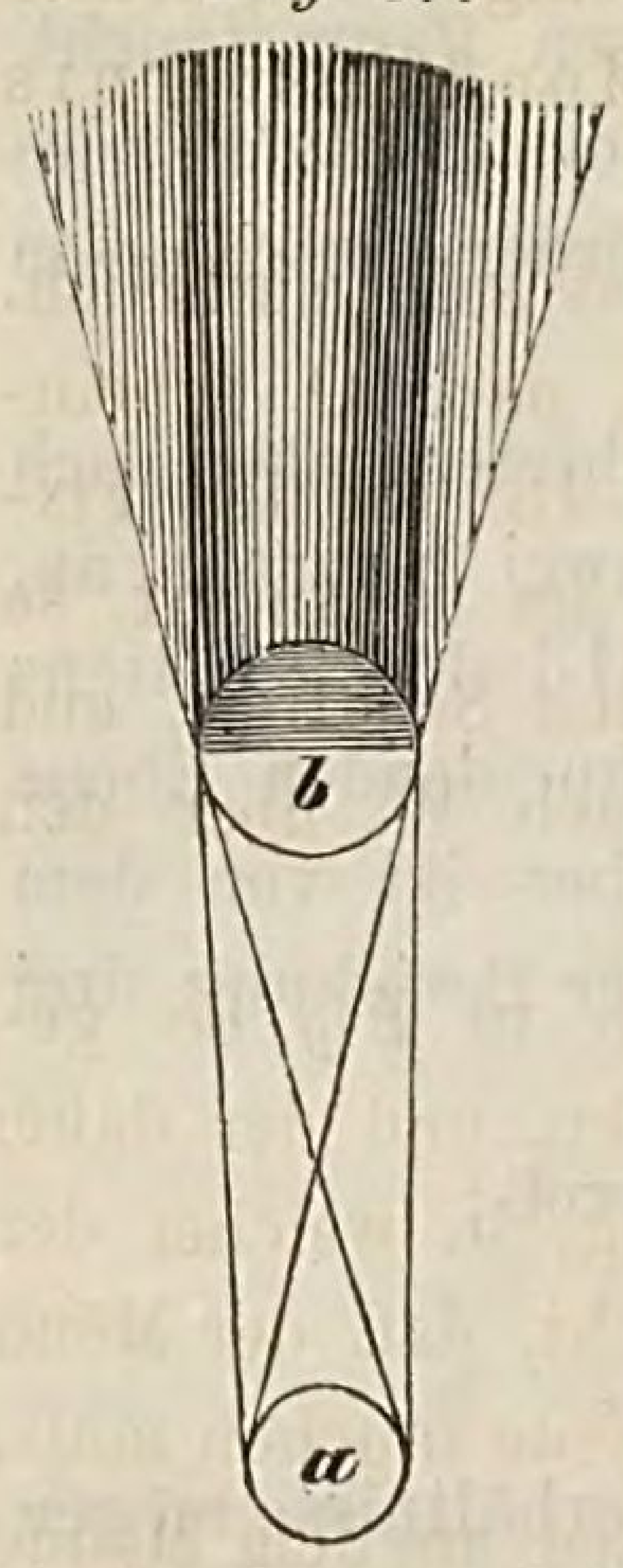


Im ersten Falle, *Fig. 66*, bei gleicher Größe der beiden Kugeln, werden die von dem äußersten Rande der leuchtenden Kugel *a* ausgehenden Lichtstrahlen genau die der Kugel *a* zugewandte Hälfte der Kugel *b* erleuchten und einen überall gleich weiten, cylindrischen Raum hinter *b* begrenzen, in den auch nicht ein einziger Lichtstrahl von *a* aus dringen kann. Man nennt diesen Raum *c* den Kernschatten, und er muß in dem vorliegenden Falle bis ins Unendliche sich fortsetzen, wenn nicht von anderer Seite her Licht in ihn hinein gesendet wird. Zu den Seiten des Kernschattens befindet sich indes ein Raum, der zwar nicht von allen, aber doch von einigen Strahlen des leuchtenden Körpers erhellt wird, und dieser Raum, der hier die Gestalt eines abgestumpften Kegels hat, dessen Abstumpfungsfläche die Lichtgrenze *op* ist, und dessen Spitze in *s* liegen würde, wird der Halbschatten genannt. Er ist nicht durchgängig von gleicher Dunkelheit; es nimmt dieselbe vielmehr mit der Entfernung vom Kernschatten ab, indem hier eine immer größere Anzahl von Lichtstrahlen in den Raum zu dringen vermag. Denn während der Kernschatten von keinem Lichtstrahl erhellt wird, wird der

zwischen dem Kernschatten und der Verlängerung der Linie *ao* liegende Raum allmählich schon von der Hälfte aller Strahlen, und endlich der außerhalb der Linie *no* und deren Verlängerung gelegene Raum von allen Strahlen der leuchtenden Kugel getroffen.

In dem zweiten Falle, *Fig. 67*, nimmt der Kernschatten nicht die Gestalt eines Cylinders, sondern wegen der Kleinheit des leuchtenden Körpers die Gestalt eines abgestumpften Kegels an, dessen Spitze noch vor *a* und dessen Ende in der Unendlichkeit liegt. Es kann nun aber nicht mehr die ganze Hälfte der Kugel *b*, sondern nur etwas weniger von ihr erleuchtet werden.

Fig. 67.



Im dritten Falle, in welchem der leuchtende Körper *a* den erleuchteten *b* an Größe übertrifft, und in welchem darum mehr als die Hälfte von *b*, *Fig. 68*, erleuchtet sein muß, hat der Kernschatten die Gestalt eines Kegels, dessen Grundfläche die Lichtgrenze *cd*, und dessen Spitze in *S* ist. Die gerade Linie *ab*, welche die Mittelpunkte beider Kugeln verbindet, bildet in ihrer Verlängerung die Achse des Schattens.

2. **Die Länge des Schattens.** Die Länge des Schattenkegels ist von zwei Momenten abhängig, nämlich von der Größe und von der Entfernung beider Körper. Je größer der leuchtende Körper dem erleuchteten gegenüber, desto kürzer ist unter übrigens gleichen Umständen der Schattenkegel, und dasselbe ist der Fall, je kleiner die Entfernung beider Körper ist.

In Beziehung auf Erde und Mond tritt der Sonne als leuchtendem Körper gegenüber der letztere der obigen drei Fälle ein, indem die Sonne beide an Größe weit übertrifft. Da aber die Entfernung beider Körper von der Sonne eine verschiedene ist, so muß auch die Länge ihres Schattenkegels, der in den Weltenraum fällt, einer Veränderung unterworfen sein. So hat der Schatten der Erde:

in der Sonnenferne	eine Länge	von	188640	Mln.
» » mittleren Entfernung	»	»	» 185453	»
» » Sonnennähe	»	»	» 182408	»

Es ist mit Hilfe der Aehnlichkeit der Dreiecke leicht, die Länge des Erdschattens für jede Entfernung der Erde von der Sonne zu finden. Es ist nämlich in der folgenden *Fig. 68*

$$\triangle\, vaS \sim \triangle\, cbS$$

Es verhält sich daher $va : cb = aS : bS$

folglich auch $va - cb : cb = \underbrace{aS - bS}_{ab} : bS$ d. h.

der Unterschied des Sonnen- und des Erdhalbmessers verhält sich zu dem Erdhalbmesser, wie die Entfernung der Erde von der Sonne zu der Länge des Kernschattens der Erde. Da nun die drei ersten Größen bekannt sind, so läßt sich leicht die gesuchte vierte Größe berechnen. Bei Ausführung der Rechnung wird man die oben angegebenen Zahlen finden.

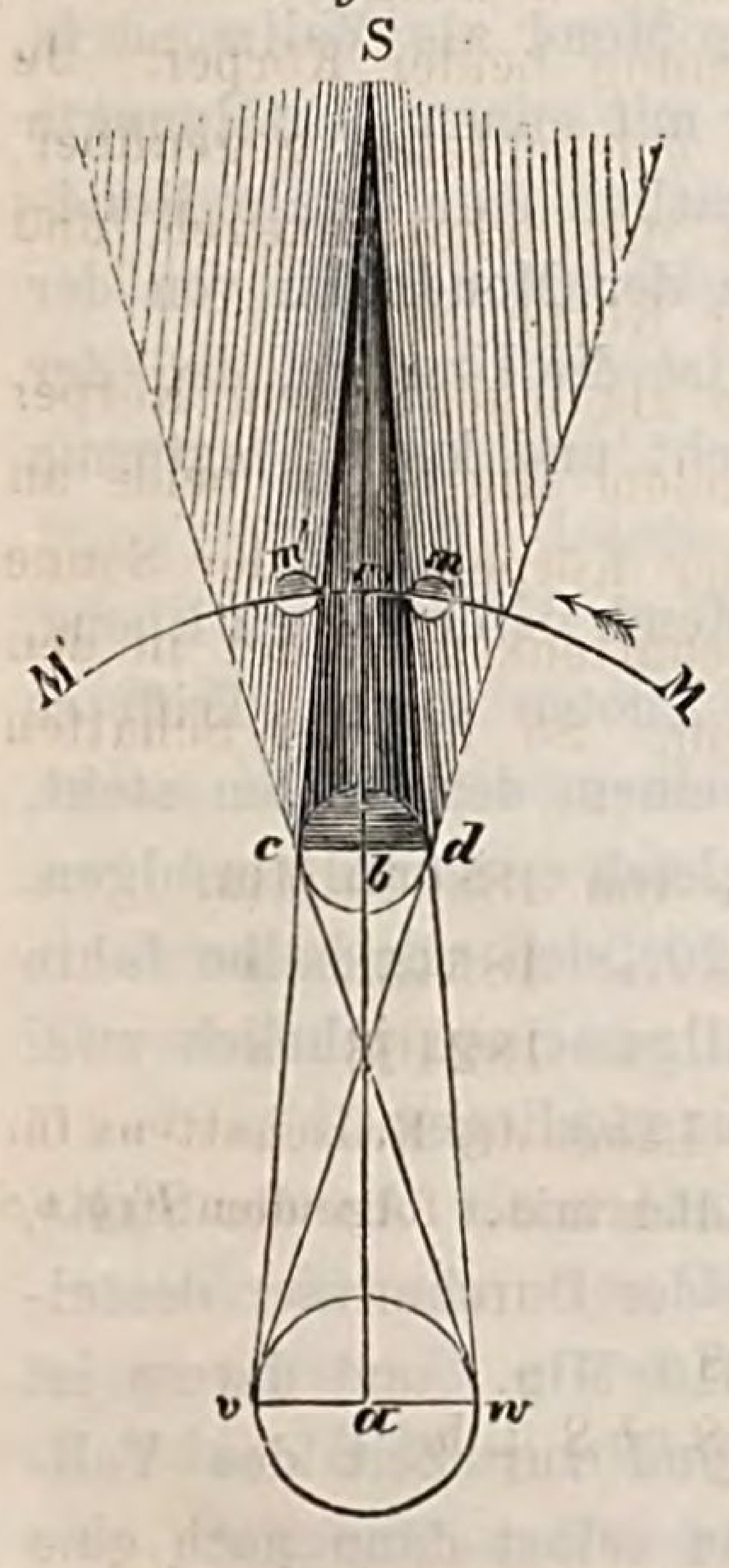
A. Von den Mondfinsternissen.

1. **Aeußere Erscheinung derselben.** Bei der Bewegung des Mondes um die Erde geschieht es zuweilen, daß der Mond zur Zeit seiner Opposition mit der Sonne, d. i. zur Zeit des Vollmondes, durch den Schattenkegel der Erde geht. Die dadurch an dem Monde hervorgebrachte Verfinsterung, welche sich so darstellt, als ob eine dunkle Scheibe von links nach rechts oder von O. nach W. über den Mond hinwegrückte und mehr oder weniger von seiner erleuchteten Seite verdunkelt, ist unter dem Namen einer Mondfinsternis bekannt.

Daß die Verfinsterung von O. nach W. vor sich geht, ist sehr natürlich. Da nämlich die fortschreitende Bewegung des Mondes von W. nach O. scheinbar rascher als die der Erde erfolgt, indem er täglich etwa 13⁰ an den Fixsternen vorüberschreitet, die Erde aber ihren Ort täglich nur um 1⁰ ändert, so taucht sich der Mond zuerst mit seiner östlichen Seite in den Schatten, und uns erscheint es darum, als ob der Erdschatten von O. nach W. über den Mond fortschritte.

2. **Erläuterung durch eine Zeichnung.** Dies kann in *Fig. 68* genauer erkannt werden. — Es sei *MM'* ein Theil der Mondbahn, und der dabei stehende Pfeil bezeichne die Richtung, in welcher der Mond ihn durchläuft. Man sieht leicht, daß der Mond sich zuerst in den Halbschatten der Erde tauchen muß; allein die auf dem Wege durch diesen an dem Monde bewirkte Verfinsterung ist nur unbedeutend, weshalb man diese theilweise Entziehung des Sonnenlichtes nicht mit zur Mondfinsternis rechnet. Es sieht fast so aus, als ob ein nicht sehr dichter Nebel das Mondlicht schwächte. Je näher aber der Mond dem Kernschatten kommt, desto matter wird das Licht des Mondes, bis endlich in dem Moment des Eintritts in den Kernschatten, welchen Moment die Figur bei der Stellung des Mondes in *m* darstellt, die eigentliche Finsternis beginnt. Man sieht also, daß der Mond sich zuerst mit dem linken oder östlichen Rande in den Schattenkegel taucht. Da der Erdschatten an der Stelle, wo ihn der Mond zu durchschneiden pflegt, bedeutend größer als der Durchmesser des Mondes ist, $2^2/_3$ mal so groß, so stellt sich der Erdschatten auf dem Monde nie als ein ganzer Kreis, sondern stets nur als eine kreisförmig begrenzte Fläche dar. In *r* würde die Mitte der Finsternis eingetreten, und in dem in der Figur angenommenen Falle der ganze Mond verfinstert sein. Bei dem Austritte des Mondes aus dem Kernschatten wird zuerst wieder der östliche Mondrand schattenfrei, bis endlich,

Fig. 68.



wenn der Mond wie in *m'* steht, der ganze Mond sich wieder des Sonnenscheins, wenn auch nicht des ungeschwächten, erfreut. Da nämlich der Mond noch den Halbschatten der Erde zu durchschreiten hat, so ist noch ein Theil der Sonnenscheibe seinen Blicken entzogen, und man sieht wohl leicht, daß er eine partiale Sonnenfinsternis haben müsse, während für ihn, so lange er im Kernschatten verweilte, die Sonne total verfinstert war.

3. **Arten der Mondfinsternisse.** Man unterscheidet im allgemeinen zwei Arten von Mondfinsternissen, nämlich totale und partiale. Es wird eine Finsternis total genannt, wenn der Mond sich ganz in den Schattenkegel taucht, und daher die ganze Mondscheibe verfinstert wird. Geht der Mond dabei durch die Achse des Schattenkegels, so daß sein Mittelpunkt mit den Mittelpunkten von Erde und Sonne in einer geraden Linie liegt, so pflegt man sie zugleich eine centrale zu nennen. Erfährt der Mond dagegen nur eine theilweise Verfinsterung, so heißt eine solche Finsternis eine partiale Mondfinsternis. Man pflegt die Größe der Finsternis nach Zollen zu bestimmen, indem man den scheinbaren Durchmesser des Mondes in 12 gleiche Theile, Zolle genannt, eintheilt. So würde also z. B. bei einer 6zölligen Finsternis der Mond sich bis zur Mitte in den Erdschatten tauchen; die stärkste centrale Finsternis ist etwa 20zöllig.

4. **Allgemeine Bedingungen derselben.** Lägen Erd- und Mondbahn genau in derselben Ebene, so müßte alle Monate der Mond als Vollmond in den Kernschatten der Erde treten, und zwar so, daß er mit seinem Mittelpunkte durch die Achse des Schattenkegels ginge und allmonatlich eine totale Mondfinsternis sich ereignete. Nun weicht aber die Ebene der Mondbahn von der der Erdbahn um einen Winkel von $5^0,1$ ab, und dies ist die Ursache, daß der Mond bald über, bald unter dem Erdschatten hinweggeht und keine Finsternis erfolgt.

Nur zweimal im Monate stehen Sonne, Erde und Mond in derselben Ebene, und dies ist dann der Fall, wenn der Mond in seinen Knoten steht. Trifft es sich nun, daß der Mond als Vollmond gerade in einem der Knoten steht, so muß eine Finsternis, und zwar eine totale und zugleich centrale erfolgen. Da der Vollmond, wie wir bereits gesehen haben, S. 220, sich alle halbe Jahre in der Nähe der Knoten ereignet, so finden auch im allgemeinen jährlich zwei Mondfinsternisse statt, die etwa ein halbes Jahr auseinanderliegen.

5. **Grenzen der Möglichkeit einer Mondfinsternis.** An der Stelle, wo der Mond den Erdschatten durchschneidet, beträgt der Durchmesser desselben noch etwa $2^2/_3$ Durchmesser des Mondes oder 1240 Mln., und darum ist auch eine Mondfinsternis noch möglich, wenn der Mond zur Zeit des Vollmondes in der Nähe seiner Knoten steht; ja es kann selbst dann noch eine totale Finsternis sich ereignen, wenn gleich in den meisten Fällen nur eine partiale stattfindet.

Der scheinbare Halbmesser des Erdschattens an der Stelle, wo er von dem Monde durchschnitten wird, ist höchstens $46^1/_2$ Bogenminuten. Wenn nun die

scheinbare Größe des Halbmessers des Mondes zur Zeit der Erdnähe $16^3/_4{}'$ beträgt, so könnte doch eine Verfinsterung des Mondes erst eintreten, wenn die Entfernung des Mondmittelpunktes im Vollmonde weniger als $46^1/_2 + 16^3/_4{}' = 63^1/_4{}'$ betrüge oder, was dasselbe sagt, wenn die Entfernung des Mondmittelpunktes von der Ekliptik (in deren Ebene stets die Achse des Erdschattens liegt), d. i. die nördliche oder südliche Breite des Mondes, kleiner als jene Zahl wäre. Mit dieser Zahl ist aber die äußerste Grenze der Möglichkeit einer Mondfinsternis angegeben; denn in den meisten Fällen ist sowohl der Halbmesser des Erdschattens, als auch der scheinbare Halbmesser des Mondes kleiner als die oben angegebenen Werthe, so daß in diesen Fällen auch bei einer geringeren Breite des Mondes eine Finsternis erfolgen kann. Es lassen sich aber die Grenzen der Möglichkeit einer Mondfinsternis auch noch anders bestimmen, indem nämlich angegeben wird, welche Entfernung der Mond im Vollmonde von den Knoten haben kann, um jene Breite nicht zu überschreiten.

Berücksichtigt man alle auch erst in späteren Jahren eintretenden Verhältnisse, die auf die Entstehung der Mondfinsternisse von Einfluß sind (die Veränderlichkeit der Schiefe der Mondbahn und seiner Entfernung von der Erde), so erhält man (nach *Mädler*) als nothwendige Grenze für eine totale Mondfinsternis 3° 30′, für eine partiale 7° 47′; als mögliche Grenze für eine totale 7° 19′, für eine partiale 13° 21′ Entfernung von den Knoten. Ehe man deshalb an die Berechnung einer Finsternis geht, prüft man zuvor, ob überhaupt der Abstand des Vollmondes von den Knoten innerhalb der angegebenen Grenzen sich befinde, um sich nicht vergebene Mühe zu machen.

6. **Zahl der Mondfinsternisse.** Da die Entfernung des Vollmondes von einem der Knoten höchstens 13° 21′, und zwar zu beiden Seiten desselben betragen darf, damit noch eine Finsternis eintrete, so hat der Theil der Mondbahn, innerhalb dessen die Möglichkeit einer Mondfinsternis liegt, eine Länge von $2 \times 13^0\ 21' = 26^0\ 42'$. Nun ändert sich aber die Länge zweier auf einander folgenden Vollmonde ungefähr um 29°; darum können unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht zwei, wenn auch nur partiale Mondfinsternisse in zwei auf einander folgenden Monaten stattfinden. Es liegen vielmehr zwei Mondfinsternisse gewöhnlich ein halbes Jahr auseinander, und wenn die eine Finsternis im aufsteigenden Knoten sich ereignete, so erfolgt die andere im absteigenden Knoten. Im allgemeinen finden in 18 Jahren 29mal die Bedingungen zu einer Mondfinsternis statt.

7. **Dauer der Mondfinsternisse.** Was die Dauer der Mondfinsternisse anbetrifft, so sei bemerkt, daß eine partiale von Anfang bis Ende höchstens 2 Stdn. 18 Min. währen kann. Die Dauer einer totalen mit Hinzurechnung der partialen zu Anfang und zu Ende der Finsternis ist gleich 4 Stdn. 38 Min. Diese Länge tritt aber nur sehr selten bei centralen Mondfinsternissen ein, da es nicht häufig geschieht, daß die Mittelpunkte von Sonne, Mond und Erde in einer geraden Linie liegen oder der Mittelpunkt des Mondes durch die Achse des Kernschattens geht.

8. **Farbe des verfinsterten Mondes.** Hinsichtlich der Farbe, in welcher der verfinsterte Mond erscheint, hat sich eine große Verschiedenheit gezeigt. Es giebt historische Berichte, aus denen hervorgeht, daß der Mond bei einer totalen Finsternis fast gänzlich verschwunden war. So berichtet dies *Kepler* von zwei Mondfinsternissen, von denen sich die eine am 9. Decbr. 1601 und die andere am 15. Juni 1620 ereignete, und *Hevel* versichert, daß er am 25. April 1642 bei ganz heiterem Himmel den verfinsterten Mond nicht einmal habe mit dem Fernrohr sehen können. Auch in neuerer Zeit, am 10. Juni 1816, verschwand der Mond fast gänzlich, und erst kurz vor dem Ende der totalen Finsternis erschien er wieder in einem nebeligen Schimmer. Daß der Mond so gänzlich unsichtbar werden kann, spricht gewiß dafür, daß er ein von Natur dunkler Körper ist, und daß er sein Licht der Sonne verdankt. Es ist aber ein solches Verschwinden im allgemeinen sehr selten; denn in den meisten Fällen zeigt der Mond selbst zur Zeit der stärksten Verfinsterung ein röthliches, oft kupferfarbiges Licht, so daß er fast wie eine glühende Kugel erscheint.

Bei einem normalen Verlauf einer totalen Mondfinsternis verschwinden beim Eintritt des anfangs grauen Kernschattens der Erde die davon bedeckten Flecken des Mondes gänzlich. Je mehr aber die Finsternis vorschreitet, desto mehr geht das ursprüngliche Grau des Schattens in Roth über, und die Flecken fangen wieder an sichtbar zu werden. Kurz vor der totalen Finsternis ist fast der ganze Schatten roth bis auf den Theil, der dem letzten Licht des Mondes nahe liegt und graublau erscheint. Bei der totalen Finsternis selbst erscheint die ganze Mondscheibe in rosenfarbigem Lichte, in welchem nur diejenigen Fleckenpartien schwer zu erkennen sind, über welche der eigentliche Kernschatten der Erde hinweggeht. Die hier kurz angegebene Reihenfolge der Färbung des Mondes wiederholt sich beim Wiederaustritt des Mondes aus dem Erdschatten in umgekehrter Ordnung. Von diesem normalen Verlaufe der Erscheinung, der nur dann eintritt, wenn unsere Atmosphäre ziemlich dunstfrei ist, namentlich auch in den Gegenden, die am Rande des Erdschattens liegen, für welche also die Sonne zur Zeit der Finsternis auf- oder untergeht, weichen die Berichte über verschiedene Mondfinsternisse nicht unwesentlich ab. Daß der Mond zuweilen ganz oder fast ganz verschwindet, ist schon gesagt; aber auch das Roth ist oft sehr verschieden, zuweilen das schönste Rosenroth, dann wieder glühendes Hochroth, oder trübes Kupferroth, oder schmutziges Grauroth.

Die Hauptursache dieser Veränderlichkeit der Erscheinung ist höchst wahrscheinlich hauptsächlich der sehr verschiedene Zustand der irdischen Atmosphäre, namentlich in den Gegenden, die am Rande des Erdschattens liegen. Ist hier heitere Luft, so tritt der oben beschriebene Verlauf und schönes Rosenroth ein; ist hingegen die Atmosphäre an den genannten Oertern mehr oder weniger dunstig oder mit Wolken erfüllt, so wird das Roth dunkler und dunkler, so daß sogar der ganze Mond unsichtbar werden kann. Man denke an die Morgen- und Abendröthe; auch hier ist die Art des Roth durch den Zustand der

Atmosphäre in Beziehung auf Wassergehalt und Wolkenbildung bedingt. Die am Rande des Kernschattens hingleitenden und gebrochenen Lichtstrahlen werden durch Beugung und Reflexion in denselben hineingelenkt, wodurch eben seine verschiedene Färbung hervorgebracht wird.

Indessen reicht der Zustand der Atmosphäre allein nicht aus, alle Erscheinungen zu erklären, namentlich den Umstand nicht, daß die Flecken des Mondes anfangs verschwinden, bei vorrückender Finsternis wieder sichtbar werden, um gegen Ende der Finsternis wieder zu verschwinden. Zur Erklärung dieser Verhältnisse scheint der glänzende Strahlenkranz oder die Corona, welche bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtet wird, geeignet zu sein. Auch für den Mond muß dieselbe sich zeigen, aber für verschiedene Stadien der Finsternis in verschiedener Breite und Helligkeit. Wenn die Erde den Mondörtern, bei denen der Kernschatten zuerst eintritt, die letzten Strahlen der Sonne verdeckt, so muß jene Corona eine sehr ungleiche Breite und Helligkeit besitzen (die größte da, wo die Strahlen zuerst verschwanden); das in derselben gebrochene vielfarbige Sonnenlicht fließt zu einem Grau zusammen und macht für uns die Flecken des Mondes beim Beginnen der Finsternis unsichtbar. Erlangt die Corona bei vorschreitender Finsternis eine gleichmäßigere Breite und ein gleichmäßigeres Licht, in welchem wie bei unserer Morgen- und Abendröthe das Roth überwiegen wird, so wird auch die Färbung des Erdschattens eine vorherrschend röthliche werden, in welcher die Mondflecken wieder aufdämmern, bis für die Oerter nahe dem Centrum des Erdschattens wegen der Größe der die Sonne bedeckenden Erde das Licht wieder zu schwach wird, die Flecken erkennen zu lassen. Beim Austritt des Mondes aus dem Erdschatten tritt wieder das zuerst angedeutete Verhältnis ein, bei dem die Flecken des Mondes wieder verschwinden.

9. **Wiederkehr der Mondfinsternisse.** Da das Mondjahr nur eine Dauer von 354 Tagen hat, also das Datum des 13. Vollmondes jährlich um etwa 11 Tage, in Schaltjahren um 10 Tage vorrückt, so verfrüht sich in einem folgenden Jahre das Datum einer entsprechenden Mondfinsternis um etwa 10 oder 11 Tage. So ist z. B. in diesem Jahre 1869 eine Mondfinsternis am 28. Januar; im nächsten Jahr wird die entsprechende Finsternis schon am 17. Januar, im dann folgenden Jahre 1871 schon am 6. Januar eintreten. Da ferner 223 synodische Monate = 242 drakonitischen Monaten oder = 6585 Tg. = 18 Jahren 11 Tagen sind (chaldäische Periode), nach dieser Zeit aber Sonne, Mond und die Knoten nahe wieder dieselbe Lage zu einander haben, so verspätet sich nach 18 Jahren das Datum einer entsprechenden Mondfinsternis um etwa 11 Tage. Erst nach 19 Jahren (s. den *Meton*schen Mondencirkel) treffen die Finsternisse wieder ziemlich genau auf dasselbe Datum, so daß es hiernach möglich ist, schon viele Jahre voraus den Eintritt der Mondfinsternisse vorauszusagen. Die genaueren Umstände der einzelnen Finsternisse aber, als Anfang und Ende der Finsternis, für welche Oerter sie sichtbar, wie vielzöllig dieselbe sein werde u. dgl. m. muß in jedem Falle durch besondere Rech-

nung bestimmt werden. Daß die Mondfinsternisse zu Längenbestimmungen auf der Erde benutzt werden können und benutzt worden sind, haben wir bereits S. 131 gelernt; auch ist der dabei sich herausstellenden Schwierigkeiten bereits Erwähnung gethan. Mit etwas sichrerem Erfolge lassen sich die nun zu betrachtenden Sonnenfinsternisse für den bezeichneten Zweck anwenden.

B. Von den Sonnenfinsternissen.

1. Unpassender Name, äußere Erscheinung derselben. Fielen Erd- und Mondbahn in dieselbe Ebene, so müßte, wie bei jedem Vollmonde eine Mond-, bei jedem Neumonde eine Sonnenfinsternis eintreten. Zur Zeit des Neumondes müßte der Mond sich immer gerade zwischen Sonne und Erde befinden und der Erde, der er dann die dunkle Seite zukehrt, das Licht der Sonne entziehen und eigentlich eine Erdfinsternis hervorrufen, die man aber, bei dem Scheine stehen bleibend, unpassend eine Sonnenfinsternis genannt hat. Zweckmäßiger könnte das Ereignis, wollte man den Namen für dasselbe der Sonne entlehnen, eine Sonnenbedeckung heißen.

Da die Bewegung des Mondes von W. nach O. und schneller geschieht, als die der in demselben Sinne fortschreitenden Sonne, so muß der Mond zuerst den westlichen Rand der Sonne verdecken und es uns so scheinen, als schöbe sich eine dunkle Scheibe, die nichts anderes als die unerleuchtete Seite des Mondes ist, von W. nach O. über die Sonne, so daß also die scheinbare Verfinsterung der Sonne bei einer Sonnenfinsternis in dem entgegengesetzten Sinne mit der wirklichen Verfinsterung des Mondes bei einer Mondfinsternis erfolgt.

Eine einzelne von W. nach O. an der Sonne vorüberziehende Wolke ist geeignet, den Verlauf der Erscheinung zu veranschaulichen. Sie wird zuerst den westlichen Sonnenrand verdecken und allmählich allen Oertern, die in der Richtung der Verbindungslinie von Sonne und Wolke sich befinden, den Anblick der Sonne ganz entziehen. Den außerhalb dieser Richtung liegenden Oertern aber wird die Wolke den Sonnenschein nicht zu entziehen vermögen, weil sie die verhältnismäßig nahe Wolke an einem andern Orte des Himmels sehen. Steht man auf einer Höhe, etwa einem Thurme oder einem Berge, so hat man gar oft Gelegenheit, den Schatten einer vor der Sonne vorüberziehenden Wolke über die Erde hinziehen zu sehen. Unter der oben angenommenen Richtung der Wolke sieht man ihren Schatten ebenfalls von W. nach O. auf der Erdoberfläche fortschreiten und allmählich immer andere Berge, Dörfer etc. verdunkeln, und diese wechselnde Beleuchtung der Gegend trägt nicht wenig dazu bei, die Schönheit des Anblicks zu erhöhen.

Eine ganz ähnliche Erscheinung kann man von einem hohen Standpunkte aus zur Zeit einer Sonnenfinsternis haben. Man kann den Schatten des Mondes von W. nach O. auf der Erde fortschreiten sehen. Für alle westlicher gelegenen Oerter tritt die Verdeckung der Sonne früher als für die östlicheren ein.

Eine Sonnenfinsternis ist also nicht, wie eine Mondfinsternis, eine für alle Gegenden, in denen sie überhaupt sichtbar ist, gleichzeitig eintretende Erscheinung; ja es können für gewisse Oerter selbst totale Sonnenfinsternisse unbemerkt vorübergehen und diese Oerter sich während der ganzen Finsternis des schönsten Sonnenscheins erfreuen.

2. **Allgemeine Bedingungen derselben.** Die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik von 5°,1 verhindert, daß jeden Monat eine Sonnenfinsternis eintritt, indem wegen jener Abweichung der Mond zur Zeit des Neumondes bald über, bald unter der Sonne zu stehen kommt. Es wird demnach eine Bedeckung der Sonne nur erfolgen können, wenn der Mond als Neumond in oder doch nahe den Knoten steht, so daß im allgemeinen die Entstehung der Sonnenfinsternisse an dieselben Bedingungen geknüpft ist, wie die der Mondfinsternisse. Steht der Mond im Momente des Neumondes gerade im Knoten, so wird er vielen Bewohnern der Erde jedenfalls den Anblick der Sonne entziehen und für sie eine Sonnenfinsternis veranlassen, die aber für verschiedene Gegenden verschieden ausfallen wird, indem sie für viele nur partial, für andere total oder auch ringförmig sein kann, wofür die näheren Umstände weiter unten angegeben werden sollen. Allein eine Finsternis ist auch noch möglich, wenn der Neumond sich in der Nähe seiner Knoten ereignet, indem er auch dann noch gewissen Gegenden der Erde wegen seiner bedeutenden scheinbaren Größe wenigstens einen Theil der Sonne verdecken kann.

3. **Grenzen der Möglichkeit derselben.** Die Möglichkeit einer Sonnenfinsternis hört auf, wenn die nördliche oder südliche Breite des Neumondes mehr als 1° 35′ beträgt. Dies ist aber die Grenze in dem Fall, wo der Mond der Erde am nächsten steht und darum sehr groß erscheint. Er kann aber in der Erdferne noch vor der Sonne, ohne sie zu verfinstern, vorbeigehen, wenn seine nördliche oder südliche Breite 1° 24′ ist; wenn dagegen die Breite des Mondes kleiner als 1° 24′ wird, so muß eine Finsternis, und zwar wenn sie kleiner als 1° 2′ ist, eine totale Finsternis an irgend einem Orte der Erde stattfinden.

Werden die Grenzen der Möglichkeit der Sonnenfinsternis durch die Entfernung des Neumondes von einem seiner Knoten angegeben, so läßt sich sagen: Es ist keine Finsternis möglich, wenn die Entfernung vom Knoten mehr als 19° 44′ beträgt; es tritt aber gewiß eine solche ein, falls die Entfernung vom Knoten kleiner als 13° 33′ ist. Eine totale Finsternis muß eintreten, wenn jene Entfernung kleiner als 7° 46′ ist; sie kann aber noch eintreten bei 13° 19′ Entfernung von den Knoten. Hieraus folgt, daß die Grenzen der Möglichkeit für Sonnenfinsternisse weiter sind als für die Mondfinsternisse, und während sich in 18 Jahren etwa nur 29 Mondfinsternisse ereignen, ist die mittlere Zahl der Sonnenfinsternisse für die ganze Erde 41. Sind aber auch die Sonnenfinsternisse für die ganze Erde häufiger, so doch nicht für einen bestimmten Ort; denn für eine bestimmte Stadt z. B. ereignen sich Sonnenfinsternisse etwa 3mal so selten als Mondfinsternisse, und es läßt sich an-

nehmen, daß jeder Ort der Erde nach 2 Jahren eine partiale, doch erst nach 200 Jahren eine totale Sonnenfinsternis zu erwarten hat.

4. **Länge des Mondschattens.** Um zum näheren Verständnis des Verlaufs der verschiedenen Arten von Sonnenfinsternissen zu gelangen, wollen wir uns daran erinnern, daß der Mond, wie die Erde, einen kegelförmigen Schatten wirft, dessen Länge aber wegen verschiedener Entfernung des Mondes von der Sonne ebenfalls eine veränderliche ist.

Es beträgt nämlich die Länge des Kernschattens des Neumondes:

in der Erdferne 51083 Mln.
» » mittleren Entfernung 50209 »
» » Erdnähe nur 49376 »

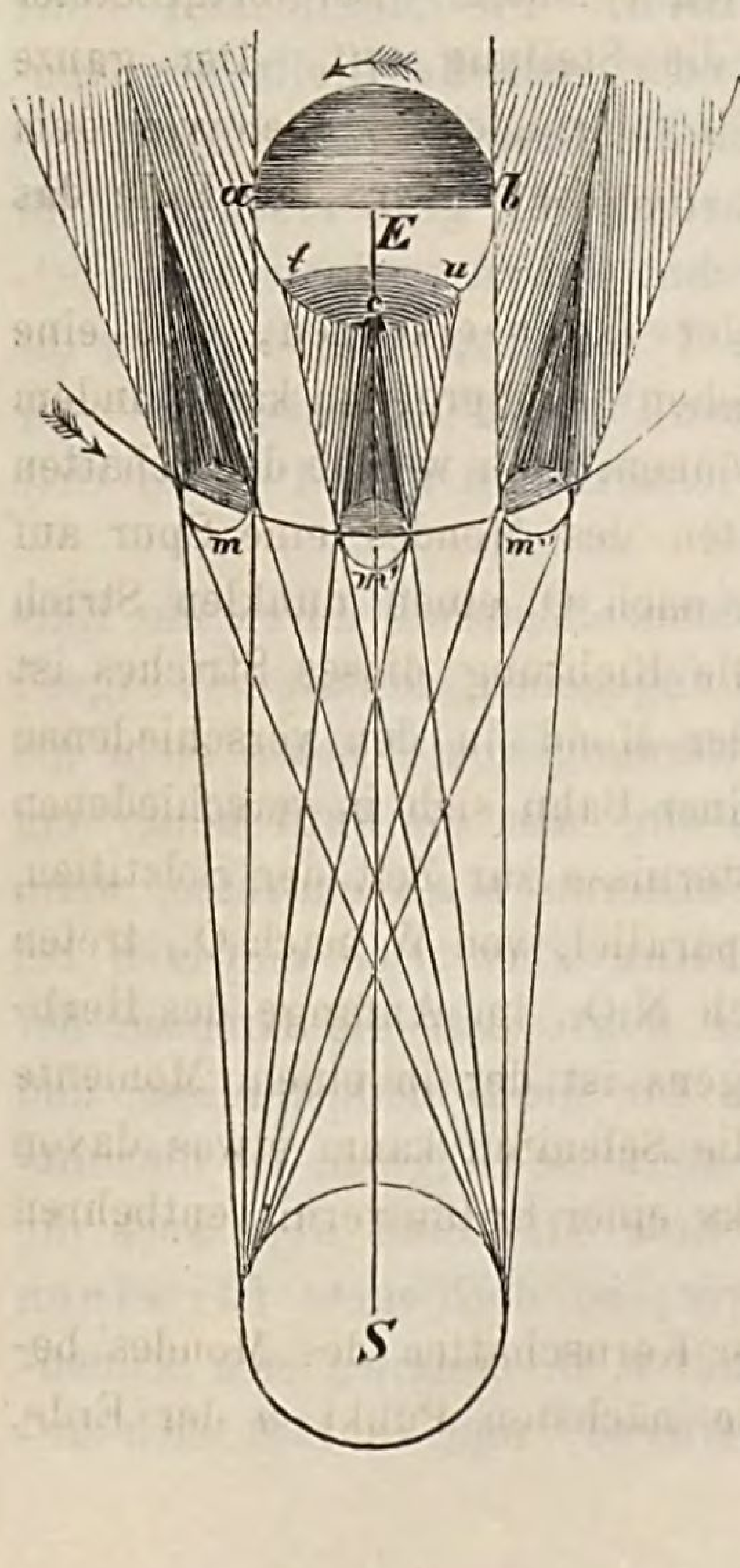
Nun ist aber die Entfernung der Erde vom Monde:

in der Erdferne 54645 Mln.
» » mittleren Entfernung 51804 »
» » Erdnähe 48963 »

Vergleicht man die Zahlen für die Entfernungen mit den Zahlen für die entsprechenden Schattenlängen, so ist klar, daß der Schatten des Neumondes die Erde nur in den geringeren Entfernungen treffen kann, nicht aber mehr in der mittleren und größten.

Es sind daher drei Fälle möglich, nämlich:

Fig. 69.



1) der Kernschatten des Mondes reicht über die Erde hinaus;
2) er berührt mit seiner Spitze die Erdoberfläche;
3) er bleibt mit seiner Spitze noch von der Erdoberfläche entfernt.

Wir wollen diese drei Hauptfälle der Reihe nach betrachten und uns mittelst Zeichnung die dabei eintretenden Verhältnisse in Beziehung auf die Sonnenfinsternisse zu veranschaulichen suchen.

5. **Erläuterung der Sonnenfinsternisse mittelst Zeichnung.**

Erster Fall. Die nebenstehende *Fig. 69* zeigt 3 Momente der Sonnenfinsternis, nämlich Anfang, Mitte und Ende derselben für die ganze Erde. Es ist in derselben die Sonne S, die Erde E und außerdem der Mond in 3 Stellungen bei m, m' und m'', und durch einen Pfeil die Richtung der Bewegung des letztern um die Erde angegeben worden.

Ist der Mond in m angekommen, so berührt der Rand des Halbschattens die Erde gerade in dem Punkte a, und für diesen Ort beginnt der

Mond sich von der Rechten zur Linken oder von W. nach O. vor die Sonne zu schieben. So lange der Ort *a* in dem Halbschatten sich befindet, ist für denselben eine partiale Finsternis, bis in dem Momente, in welchem der Kernschatten ihn erreicht, die totale Finsternis beginnt. Diese währt so lange, bis der ganze Kernschatten, dessen Durchmesser für die Aequatorialgegenden nie über 30 Meilen beträgt, über *a* hinweggegangen ist. Ihr folgt alsdann eine mehr und mehr sich verkleinernde partiale Finsternis, bis mit dem Austritte aus dem Halbschatten die Finsternis für *a* vorüber ist. Bei der angegebenen Richtung der Bewegung des Mondes kommen nach und nach immer östlicher gelegene Oerter in ähnliche Verhältnisse.

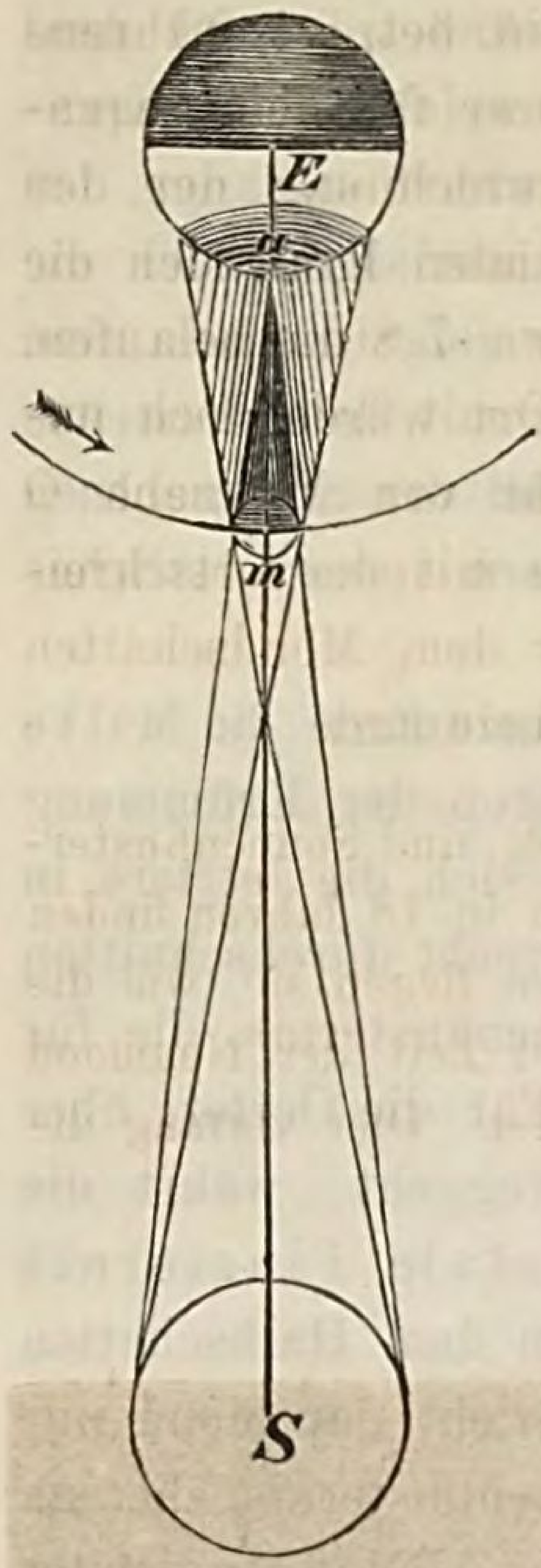
Wenn der Mond in *m'* angelangt ist, findet für die ganze Erde die Mitte der Finsternis statt. Während bisher der Kernschatten wegen der Krümmung der Erdoberfläche eine elliptische Schattenfigur bildete, hat sich die letztere in *c* zu einem Kreise gestaltet, weil hier der Schattenkegel senkrecht durchschnitten wird. Alle Oerter in diesem Kreise haben eine totale Sonnenfinsternis, die für den Ort *c* zugleich central und daher am längsten ist. Für die Oerter, über welche der nördliche und der südliche Schattenrand hinweggeht, währt die totale Finsternis nur einen Moment; sie haben eine totale Finsternis ohne Dauer. Den Bewohnern der Erde, die in dem von dem Halbschatten des Mondes auf der Erde gebildeten Kreise *tu* liegen, entzieht der Mond nur einen Theil der Sonnenscheibe; sie haben eine partiale Sonnenfinsternis, die um so größer ist, je näher sie dem Kernschatten sich befinden. Bei fortgesetzter Bewegung kommt der Mond endlich auch in die Stellung *m''*. Der ganze Schattenkegel hat die Erde passirt, und Punkt *b*, der noch so eben von dem Halbschatten gestreift wird, sieht zuletzt von allen Bewohnern der Erde das Ende der Finsternis.

Man wird nach dem Gesagten und aus der Figur erkennen, daß eine Sonnenfinsternis für viele Oerter der Erde ungesehen vorübergehen kann, indem nur diejenigen ein solches Ereignis beobachten können, über welche der Schatten des Mondes hinweggeht. Ließe der Kernschatten des Mondes eine Spur auf der Erdoberfläche zurück, so würde er von W. nach O. einen dunklen Strich von geringer Breite auf die Erde zeichnen. Die Richtung dieses Striches ist aber nicht zu allen Zeiten dieselbe, indem der Mond in den verschiedenen Jahreszeiten wegen der eigenthümlichen Lage seiner Bahn sich in verschiedenen Richtungen bewegt. Ereignen sich Sonnenfinsternisse zur Zeit der Solstitien, so ist der Schattenweg ungefähr dem Aequator parallel, von W. nach O., treten sie zu Anfang des Frühlings ein, von S.W. nach N.O., im Anfange des Herbstes aber von N.W. nach S.O. gerichtet. Uebrigens ist der in einem Momente von der Erde verfinsterte Theil so klein, daß die Seleniten kaum etwas davon gewahr werden dürften, und sie also des Anblicks einer Erdfinsternis entbehren müssen.

Zweiter Fall. Nehmen wir jetzt an, der Kernschatten des Mondes berühre mit seiner Spitze gerade den dem Monde nächsten Punkt *a* der Erde,

wie es *Fig. 70* zeigt, so würde von diesem Punkte aus die scheinbare Größe des Mondes genau der der Sonne gleich sein, und der Mond daher in der dargestellten Mitte der Finsternis genau die ganze Sonnenscheibe bedecken. Allein diese Bedeckung könnte nur einen Moment währen; der Ort *a* würde also eine totale Finsternis ohne Dauer haben.

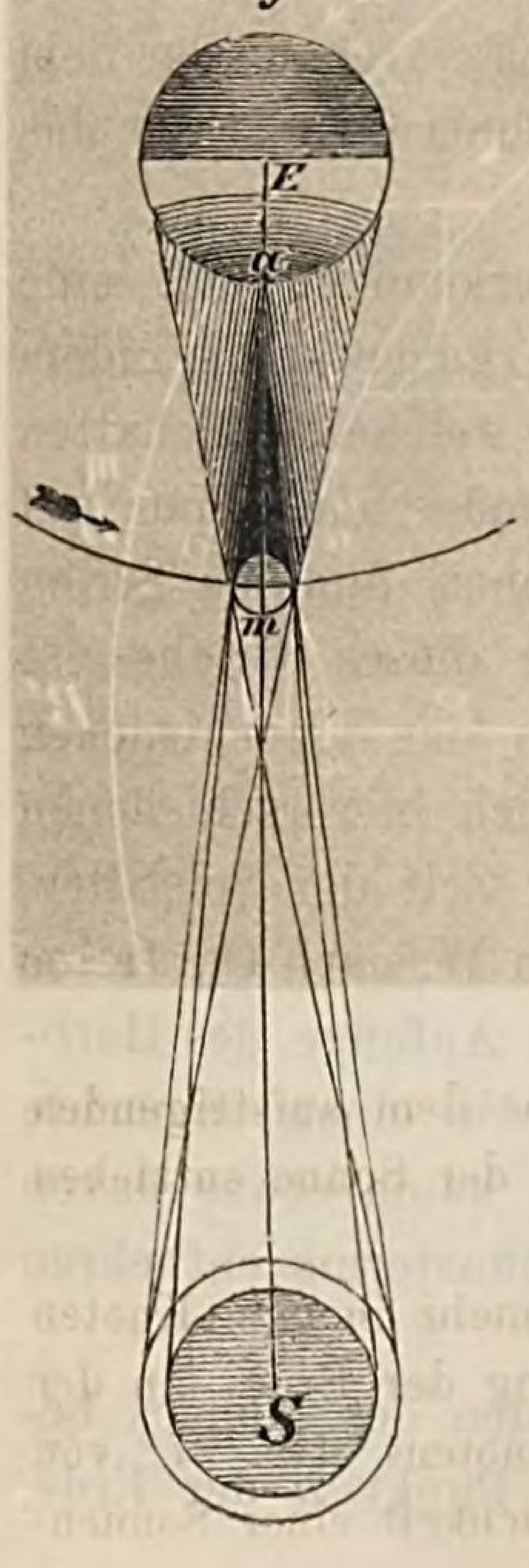
Fig. 70.



Den Bewohnern derjenigen Oerter aber, die während der ganzen Finsternis von der verlängerten Achse des Schattenkegels getroffen würden, müßte der Mond ein wenig kleiner als die Sonne erscheinen; sie würden daher zur Zeit der Mitte der Finsternis (für den jedesmaligen Ort) noch einen schmalen Ring um den die Sonnenscheibe bedeckenden Mond sehen oder eine ringförmige Sonnenfinsternis haben, über welche sogleich noch einiges Nähere gesagt werden soll.

Dritter Fall. Endlich kann der Kernschatten des Mondes die Erdoberfläche nicht erreichen, wie in *Fig. 71* dargestellt ist. In diesem Falle muß dem von der verlängerten Achse des Schattenkegels getroffenen Punkte *a* der Erdoberfläche der Mond kleiner als die Sonne erscheinen, wie es die von *a* aus an den Mond gezogenen Gesichtslinien zeigen. Es muß daher im Momente der Mitte der Finsternis noch ein Theil der Sonnenscheibe in Gestalt eines ihr concentrischen Ringes sichtbar bleiben, und die Breite dieses Ringes kann bis auf $1^1/_2{}'$ gehen. Die Concentricität könnte aber nur, wie gesagt, zur Zeit der Mitte der Finsternis stattfinden. Nach dieser hört dieselbe auf, und die ringförmige Finsternis geht dann später, wie jede andere, in eine partiale aus. In ähnlicher Weise gestalten sich die Verhältnisse für alle Oerter, die im Verlauf der Finsternis von der verlängerten Achse des Schattens getroffen werden, nur mit dem kleinen Unterschiede, daß jener Ring wegen ungleicher Entfernung der Oerter vom Monde nicht für alle dieselbe Breite hat. Diese Breite ist um so größer, je größer die Entfernung der Oerter von dem Punkte *a* ist.

Fig. 71.



Eine ringförmige Sonnenfinsternis ist aber auch noch für Oerter möglich, die nicht gerade in der Verlängerung der Achse des Schattens, sondern nur in der Nähe derselben liegen; nur kann hier jener Sonnenring mit der Sonnenscheibe nicht concentrisch sein.

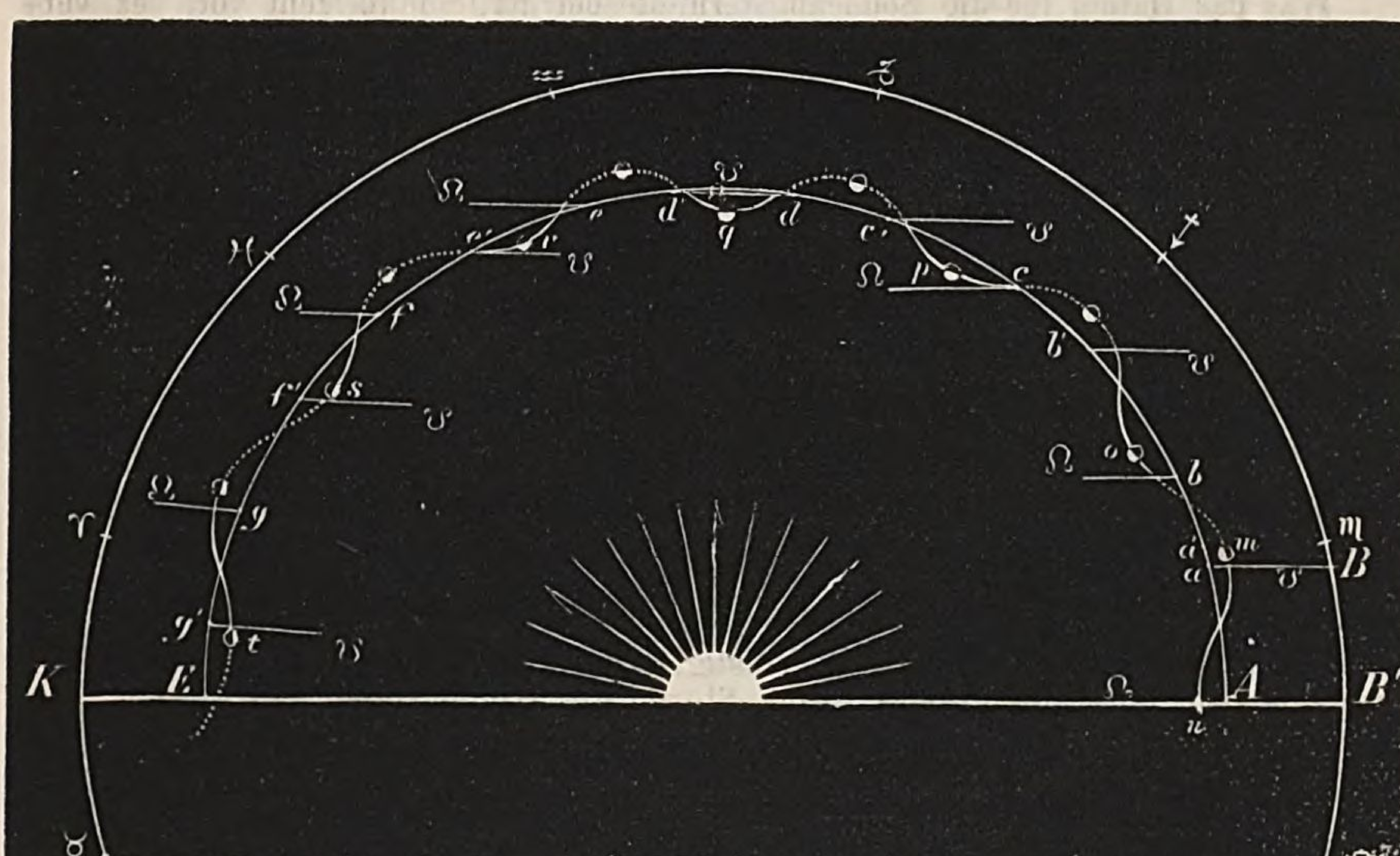
6. **Dauer der Sonnenfinsternisse.** Was die Dauer

der Sonnenfinsternisse betrifft, so sei bemerkt, daß die längste mögliche Dauer einer totalen Finsternis für die ganze Erde 4 Stdn. 38 Min. beträgt, während für einen einzelnen Ort eine totale Finsternis, und zwar für den Aequator, höchstens 7 Min. 58 Sek. anhalten kann. Mit Hinzurechnung der den totalen Finsternissen vorangehenden und nachfolgenden partialen kann sich die Dauer einer Sonnenfinsternis für die ganze Erde bis auf etwa 7 Stdn. belaufen.

Die Dauer der Sonnenfinsternisse für einen einzelnen Ort würde noch unbedeutender sein, wenn während derselben die Erde nicht von W. nach O rotirte; denn indem die Rotation der Erde in gleichem Sinne mit der fortschreitenden Bewegung des Mondes erfolgt, rücken die Erdörter dem Mondschatten nach und veranlassen dadurch eine Verlängerung der Erscheinung.

7. **Zahl der Sonnenfinsternisse.** Wie schon angedeutet, sind Sonnenfinsternisse für die ganze Erde häufiger als Mondfinsternisse; denn in 18 Jahren finden etwa 41 mal die Bedingungen zu denselben statt. Im allgemeinen liegen sie, wie die Mondfinsternisse, ein halbes Jahr auseinander, weil nach dieser Zeit der Neumond sich wieder in einem Knoten oder in der Nähe desselben ereignet. Dies vermag die schon bekannte *Fig. 72* zu veranschaulichen.

Fig. 72.



Am 5. April 1856 stand der Neumond, wie in *n*, ganz nahe dem aufsteigenden Knoten, und er mußte nun der in *A* stehenden Erde das Licht der Sonne entziehen und eine totale Sonnenfinsternis veranlassen.

Der nächste Neumond am 4. Mai konnte aber schon nicht mehr in dem Knoten erfolgen, sondern er mußte wegen der fortschreitenden Bewegung der Erde, an der er theilnimmt, und wegen der rückgängigen Bewegung des Knotens etwa 27° von demselben entfernt sein. Damit war aber die Grenze der Möglichkeit einer Sonnen-

finsternis bereits überschritten. Es ging der Mond schon über der Sonne vorbei, und die Erde unter dem Schatten des Mondes hin, ohne von ihm getroffen zu werden. Man sieht dies in der Figur an der Stellung des Neumondes bei *o*. Er hatte den aufsteigenden Knoten bereits passirt und stand schon in dem nördlichen Theil seiner Bahn. Der voraufgegangene Vollmond indessen stand dem absteigenden Knoten noch so nahe, daß er von einer partialen Finsternis begleitet war.

In den folgenden Monaten mehrte sich die Entfernung des Neumondes von dem Knoten, wie aus der Figur an den Stellungen desselben bei *p* und *q* zu ersehen ist, so daß Finsternisse an der Sonne unmöglich waren. In *q*, am 2. Juli, befand sich der Neumond ungefähr in der Mitte zwischen beiden Knoten. Von nun an näherte sich aber der Neumond, in *r* und *s*, dem absteigenden Knoten, bis er denselben am 29. Septbr. erreichte und für Oerter in Asien und dem nordöstlichen Theile Europas eine ringförmige Sonnenfinsternis hervorrief. Auch der nächste Vollmond am 13. Octbr. war von einer fast totalen Mondfinsternis begleitet.

Es sind aber auch 2 Sonnenfinsternisse in 2 auf einander folgenden Monaten möglich, und zwar dann, wenn der Knoten ungefähr in der Mitte zwischen 2 auf einander folgenden Neumonden liegt. In diesem Falle wird aber der zwischen den beiden von Sonnenfinsternissen begleiteten Neumonden liegende Vollmond von einer totalen Mondfinsternis begleitet sein, weil er sich in oder ganz nahe dem Knoten befindet.

Was das Datum für die Sonnenfinsternisse betrifft, so verfrüht sich dasselbe ebenfalls mit jedem Jahre, wie aus den Kalendern ersehen werden kann; nach 19 Jahren fällt es, wie bei Mondfinsternissen, wieder ziemlich genau auf denselben Tag.

8. **Eigenthümliche Erscheinungen bei einer Sonnenfinsternis.** Wenngleich wir den Verlauf einer Mondfinsternis mit großem Interesse verfolgen und der Anblick des meist in kupferrothem Lichte sich zeigenden Mondes in uns eigenthümliche Empfindungen hervorruft, so ist doch der Eindruck, den eine totale Sonnenfinsternis auf uns macht, viel bedeutender. Denn wenn wir in der Nacht das Licht des Mondes schwinden sehen, so ist das eben nichts besonders Auffälliges, da wir desselben in manchen Nächten entbehren müssen. Wenn dagegen bei einer totalen Sonnenfinsternis eine meist plötzlich eintretende Dunkelheit die Helligkeit des Tages unerwartet unterbricht, der Himmel sich in eine eigenthümliche, schwärzlich blaue Farbe kleidet und der Horizont sich orangefarben umsäumt; wenn selbst Sterne am Himmel sichtbar werden, wie bei der großen Sonnenfinsternis im Jahre 1851, da Venus rechts, Merkur links von dem Monde stand; wenn endlich die Luft sich rasch um mehrere Grade abkühlt, Thau zu fallen beginnt und Wolken sich bilden: so sind das Erscheinungen, die auf keinen Menschen eines gewissen Eindruckes verfehlen. Selbst Thiere und Pflanzen bleiben davon nicht unberührt; man hat namentlich Vögel, wie beim Herannahen der Nacht, sich in ihre Nester zurückziehen, Blumen sich schließen sehen. Was indessen den Grad der Dunkelheit betrifft, der bei Sonnenfinsternissen auf der Erde hervorgerufen wird, so haben in dieser Beziehung große Verschiedenheiten stattgefunden.

Von unbedeutenden partialen Finsternissen bemerkt derjenige, welcher nicht

genau um die Finsternis weiß und sie beobachtet, fast gar nichts, indem die Schwächung des Tageslichtes fast unmerklich ist; ja selbst bei fast totalen Finsternissen ist nur eine wenig auffällige Abnahme der Helligkeit wahrgenommen worden, wie darüber viele Erfahrungen vorliegen und aufgezeichnet sind. Im allgemeinen hat sich herausgestellt, daß nur dann eine recht merkliche Verfinsterung auf der Erde entsteht, wenn mehr als $^3/_4$ des Sonnendurchmessers bedeckt werden.

Bei totalen Sonnenfinsternissen ist auch nicht immer derselbe Grad der Dunkelheit beobachtet worden, und es scheint auch hier die Beschaffenheit der Atmosphäre von Einfluß zu sein. Zuweilen ist aber die Dunkelheit schon sehr bedeutend gewesen, wie z. B. bei der am 12. Mai 1706 um $9^1/_2$ Uhr vormittags zu Arles beobachteten totalen Finsternis, die $4^1/_2$ Min. dauerte. Es wurde so finster, daß man Mühe hatte, sich gegenseitig zu erkennen.

Einer besonderen Erwähnung verdienen hier noch einige in der neuesten Zeit, nämlich am 8. Juli 1842 und am 28. Juli 1851 in Europa, ferner am 18. Juli 1860 in Spanien und Nord-Afrika, am 18. Aug. 1868 im südlichen Asien beobachtete totale Sonnenfinsternisse, indem sie die bisher herrschend gewesenen Ansichten über die Umhüllungen des Sonnenkörpers nicht unwesentlich modificirt haben. Man sah nämlich um die die Sonne bedeckende größere Mondscheibe nicht bloß den gewöhnlich bemerkten hellen Schein, die sogenannte Krone oder Corona, sondern außerdem eigenthümlich gestaltete, meist in rothem Lichte strahlende Erhebungen, die sogenannten Protuberanzen, deren oberer Rand an manchen Stellen zackig, ähnlich manchen Bergzügen, erschien. An anderen Stellen schienen Flammenbüschel von der Sonne auszugehen, und einige haben sogar wie röthliches Gewölk in der Strahlenkrone schweben sehen. Aehnliche Erscheinungen sind zwar schon früher, wie z. B. im Jahre 1733 bei einer totalen Sonnenfinsternis in Schweden, nie aber so deutlich und von so vielen geübten Beobachtern zugleich wahrgenommen worden. Wir begnügen uns hier mit dieser Andeutung der Sache, und werden Näheres darüber in der folgenden Abtheilung des Buches bei der speciellen Betrachtung der Sonne mittheilen.

9. **Ueber die Berechnung der Sonnenfinsternisse.** Die Berechnung der Mondfinsternisse ist eine nicht gar schwierige Sache; weit complicirter aber ist die Berechnung der Sonnenfinsternisse, und zwar besonders durch den Umstand, daß dieselben nicht wirkliche, an allen Orten zugleich und in gleicher Weise sichtbare Ereignisse, wie die Mondfinsternisse, sondern vielmehr nur Sonnenbedeckungen sind, und es macht die Rechnung zusammengesetzter und schwieriger, wenn z. B. angegeben werden soll, für welche Oerter die Finsternis partial, oder total, oder ringförmig, und im letzteren Falle, für welche sie central sein, wann die Finsternis für verschiedene Oerter anfangen und endigen werde u. s. w. Dessen ungeachtet wissen die Astronomen auf alle diese und ähnliche Fragen ziemlich zuverlässige Antworten zu geben und für zukünftige Zeiten die eintretenden Sonnenfinsternisse im voraus zu bestimmen. Da jeder Kalender die in dem betreffenden Jahre eintretenden Finsternisse an-

giebt, so erscheint eine Aufzählung derselben hier überflüssig; doch sei bemerkt, daß Berlin erst am 19. Aug. 1887 wieder eine totale Sonnenfinsternis haben wird.

Daß die Sonnenfinsternisse ein brauchbares Mittel zur Bestimmung der geographischen Länge abgeben, haben wir schon S. 132 gesehen; so haben zum Theil Finsternisse dazu gedient, über die Ortsverhältnisse auf der Erdoberfläche das rechte und gewünschte Licht zu verbreiten.

Dritter Abschnitt.

Von den Planeten.

Erstes Kapitel.

Von den Eigenschaften und scheinbaren Bewegungen der Planeten.

Unter den zahllosen Sternen, welche den nächtlichen Himmel zieren, sind es zunächst die Planeten, welche als unserer Erde verwandte Körper ein Recht auf unsere Theilnahme haben.

Sie waren es, die schon im frühen Alterthume die Gelehrten besonders beschäftigten, da sie auf eine ihnen unerklärliche Weise die ewige Ruhe, die durch die Fixsterne über den Himmel ausgegossen zu sein scheint, störten, indem sie in den scheinbar unregelmäßigsten Bewegungen unter dem Heere der Fixsterne umherirren, und dieser Umstand war die Veranlassung, weshalb man sie Wandelsterne oder Planeten nannte.

Diese ihre Eigenschaft ist es auch besonders, die uns diese Himmelskörper ziemlich sicher von den scheinbar unbeweglich an dem einmaligen Orte verharrenden Fixsternen unterscheiden läßt. Fast zu jeder Zeit des Jahres können wir einige Planeten an dem Himmel erblicken, und einige von ihnen sind wahre Zierden desselben, da sie selbst die hellsten Fixsterne mit ihrem ruhigen Lichte überstrahlen; freilich sind aber auch manche von ihnen so klein, daß sie sich dem unbewaffneten Auge gänzlich entziehen und, wie die größte Zahl der vorhandenen Fixsterne, nur mit künstlichen optischen Instrumenten wahrgenommen werden können. Allein auch dann lassen sie sich außer an ihrer Beweglichkeit noch an einigen anderen bereits S. 56 näher angegebenen Eigenschaften als von den Fixsternen verschiedene Körper ziemlich leicht unterscheiden.

1. **Eigenschaften der Planeten.** Als besondere Eigenschaften der Planeten haben wir an dem angeführten Orte vier kennen gelernt, nämlich: 1) ihre scheinbar unregelmäßige Bewegung, 2) Mangel des eigenen Lichts, 3) Seltenheit oder gänzlicher Mangel des Funkelns oder Scintillirens, 4) die Scheibenform, die sie wenigstens im Fernrohr zeigen. — Von diesen Eigenschaften sind es besonders die erste und die dritte, die unsern unbewaffneten Augen die Planeten als eine besondere Gattung von Himmelskörpern kenntlich machen.

2. **Die Zahl der den Alten bekannten Planeten.** Die Zahl der bekannten Planeten ist zu verschiedenen Zeiten verschieden gewesen; sie mußte aber so lange gering bleiben, als man auf das natürliche Sehen beschränkt blieb und die Sehkraft noch nicht durch optische Instrumente zu erhöhen vermochte. Nur die großen, durch die bezeichneten Eigenschaften sich schon dem unbewaffneten Auge als Planeten darstellenden Sterne konnten bekannt sein; die große Zahl der kleineren Planeten, deren Entdeckung in unsern Tagen die Zahl der Glieder des Sonnensystems so erstaunlich vermehrt und die Grenzen desselben so bedeutend hinausgerückt hat, mußte sich der Kenntnis gänzlich entziehen.

Im Alterthume waren eigentlich nur fünf Planeten bekannt, d. h. Körper, die auch wir mit diesem Namen belegen; indem man aber die vor allen andern Fixsternen sich durch ihre Scheibenform und ihre eigenthümliche Bewegung auszeichnende Sonne, sowie den die Erde umwandelnden Mond mit zu den Planeten rechnete, pflegte man sieben derselben zu unterscheiden, und zwar: 1) Mond, 2) Merkur, 3) Venus, 4) Sonne, 5) Mars, 6) Jupiter, 7) Saturn, die man in der angegebenen Reihenfolge als um die ruhend gedachte Erde wandelnd sich vorstellte.

3. **Wichtigkeit des Fernrohrs.** Bis zur Erfindung des Fernrohrs und zu dem Tage, da *Galilei* im Jahre 1610 dasselbe zuerst auf den Himmel richtete, blieb die Zahl der bekannten, wirklichen Planeten, wenn man die Erde hinzurechnet, auf sechs beschränkt. Mit jener Erfindung aber nahm die Astronomie einen nie geahnten Aufschwung. Sie wurde, wie *Alex. v. Humboldt* (Cosmos III., S. 75) sagt, für die Astronomie und die Kenntnis des Himmels noch wichtiger, als die Entdeckung Amerikas im Jahre 1492 für die Kenntnis der irdischen Räume gewesen war. Durch sie wurde der Blick in die Schöpfung endlos erweitert; durch sie neben der Bereicherung des menschlichen Ideenkreises das mathematische Wissen durch Darlegung neuer und verwickelter Probleme zu einem bisher nie erreichten Glanze erhoben.

4. **Zahl der jetzt bekannten Planeten.** In einem Zeitraume von drittehalb Jahrhunderten sind mit Hilfe des Fernrohrs als zu unserem Sonnensysteme gehörig nicht weniger als 110 neue Planeten und 19 Nebenplaneten oder Satelliten entdeckt worden, anderer wichtigen Entdeckungen gar nicht zu gedenken. Es beträgt nämlich gegenwärtig die Zahl der bekannten, um die Sonne als den gemeinschaftlichen Centralkörper kreisenden Hauptplaneten 116, die der einige dieser Planeten begleitenden und umwandelnden Nebenplaneten 20.

Die Namen der Hauptplaneten und ihre üblichen Zeichen sind:

Merkur ☿
Venus . ♀
Erde . . ♁ mit 1 Mond ☾
Mars . ♂

die Asteroiden (1 bis 108), deren Namen später einzeln genannt werden sollen,

Jupiter ♃ mit 4 Monden
Saturn ♄ » 8 »
Uranus ♅ » 6 »
Neptun ♆ » 1 Mond.

Alle diese Planeten und Nebenplaneten sind der Sonne, ☉, dienstbar und umkreisen sie in kleineren oder größeren Abständen, zwischen 8 und 621 mill. Meilen, in kürzerer oder längerer Zeit. Sie werden zusammen das Sonnen- oder Planetensystem genannt. Aber außer den genannten Planeten und Nebenplaneten sind es noch mancherlei andere Gebilde, die als zum Sonnensysteme gehörend angesehen werden müssen, weil sie dem Einflusse der Sonne unterworfen sind. Es wird in dieser Beziehung späterhin Näheres mitgetheilt werden.

5. **Eintheilung der Planeten.** In der Reihe der Planeten erscheint die Erde der Sonne verhältnismäßig nahe. Nur zwei Planeten, Merkur und Venus, vollenden in Abständen von 8 resp. 15 mill. Mln. innerhalb, alle übrigen von Mars bis Neptun, in Abständen von 32 bis 621 mill. Mln. von der Sonne, außerhalb der Erdbahn ihre weite Reise um die Sonne. Wegen dieses Umstandes hat man alle Planeten in zwei Theile, in innere oder untere und in äußere oder obere Planeten getheilt. Zu jenen gehören Merkur und Venus, zu diesen alle übrigen von Mars bis zum Neptun.

Außer dieser Eintheilung der Planeten in innere und äußere besteht wohl noch eine andere, in mancher Beziehung noch angemessenere; wir wollen indessen hier zunächst bei der obigen stehen bleiben, indem sie insofern als zweckmäßig sich darstellt, als in den scheinbaren Bewegungen der betreffenden Planeten sich gewisse große Unterschiede und Eigenthümlichkeiten herausstellen, wie wir in dem Folgenden sogleich sehen werden.

6. **Scheinbare Bewegung der inneren Planeten.** Wählen wir von den inneren Planeten die herrliche **Venus**, die wir zu manchen Zeiten als Morgenstern vor Sonnenaufgang am Morgenhimmel, zu andern Zeiten als Abendstern nach Sonnenuntergang am Abendhimmel glänzen sehen, um uns durch Betrachtung der an ihr wahrnehmbaren scheinbaren Bewegung mit diesen Bewegungen der inneren Planeten überhaupt vertraut zu machen.

Im allgemeinen sieht man die Venus sich nie weit von der Sonne entfernen. Wenn sie als Morgenstern vor der Sonne aufgeht, steht sie westlich (rechts) von dieser, geht sie dagegen als Abendstern nach der Sonne unter, östlich (links) von ihr. Ihre größte westliche und östliche Entfernung von der Sonne oder ihre Elongation beträgt höchstens 48°, so daß der ganze Raum, innerhalb dessen ihre scheinbare Bewegung vor sich geht, 96° Länge hat. Sie geht höchstens 3 bis 4 Stdn. vor der Sonne auf und ebenso viel nach derselben unter, kann aber nie die ganze Nacht hindurch und nie der Sonne gegenüber gesehen werden.

Betrachtet man den schönen Stern zur Zeit seiner größten östlichen Ausweichung als Abendstern mit einem guten Fernrohr, so zeigt er sich nicht als ganze, sondern nur als halbe Scheibe, wie der Mond im ersten Viertel.

Bei der nun erfolgenden scheinbaren Annäherung an die Sonne nimmt der sichtbare Theil die Sichelgestalt (nach rechts ausgebogen) an, die um so schmaler wird, je näher der Planet der Sonne rückt; überhaupt ist der sichtbare erleuchtete Theil stets der Sonne zugewandt, wie es sein muß, wenn der Planet sein Licht von der Sonne empfängt. Mit der Annäherung an die Sonne nimmt aber der scheinbare Durchmesser der Venus beständig an Größe zu, und er kann bis auf 66″ anwachsen. Diese Größe erreicht er indessen nur ganz in der Nähe der Sonne, wo der Stern einmal wegen dieser Nähe der Sonne, andererseits aber aus dem Grunde unsichtbar wird, weil er der Erde die dunkle Seite zuwendet, wie der Mond im Neumonde. Zu manchen Zeiten, wenn auch selten, sieht man ihn dann als kleine, dunkle Scheibe sich von O. nach W. vor der Sonne vorüber bewegen, und man nennt ein solches Ereignis einen *Durchgang der Venus durch die Sonne*. Sie muß uns zu dieser Zeit *näher* als die Sonne stehen, und man sagt von ihr, sie stehe in der *unteren Conjunction* (untere ☌) mit der Sonne. Wenn sie nach dieser Stellung als *Morgenstern* sichtbar wird, erscheint sie zuerst wieder als schmale Sichel, nach *links* ausgebogen; aber während diese Sichel mit der Entfernung von der Sonne an Breite wächst, nimmt der scheinbare Durchmesser der Venus an Größe ab; sie muß sich deshalb von der Erde entfernen. Zur Zeit der größten westlichen Ausweichung erscheint sie etwa zur Hälfte erleuchtet, wie der Mond im letzten Viertel. Indem sie sich nun wieder der Sonne nähert, wächst sie bei stets sich vermindernder scheinbaren Größe allmählich zur ganzen Scheibe an; als solche kann sie indessen wegen der Nähe der Sonne nicht gesehen werden. Wenn sie mit der Sonne in gleicher Richtung steht, sie also mit dieser gleiche Länge hat, so sagt man von ihr, sie stehe in der *oberen Conjunction* mit der Sonne. Da sie uns zur Zeit derselben unter dem kleinsten Winkel von kaum 10″ erscheint, so muß sie uns in dieser Stellung am fernsten stehen.

Einige Zeit nach der oberen Conjunction sieht man die Venus wieder als Abendstern sich bis zur größten östlichen Ausweichung von der Sonne entfernen, aber dabei die ganze Scheibe bis zur Hälfte *ab*-, den scheinbaren Durchmesser aber stetig *zunehmen*, um nun den Verlauf der Erscheinungen in der angegebenen Weise zu wiederholen.

Die Venus zeigt also *Phasen* wie der Mond; doch sind bei der Zunahme der Lichtgestalt, abweichend vom Monde, die Sicheln nach *links*, bei der Abnahme derselben nach *rechts* gerichtet.

Diese Erscheinungen mußten den Alten verborgen bleiben, da sie sich nicht im Besitze von Fernröhren befanden. Allein die eigenthümliche Bewegung der Venus, wie wir sie jetzt besprechen wollen, konnte ihnen nicht entgehen.

Wenn die Venus kurz nach der oberen Conjunction als Abendstern sichtbar wird, sieht man sie mit großer Geschwindigkeit sich *rechtläufig* oder in der Reihenfolge der Zeichen bewegen. Je weiter sie sich aber von der Sonne nach O. entfernt, desto langsamer wird ihre Bewegung, und wenn sie einen

Abstand von 48° von der Sonne erreicht hat, fängt sie an, sich dieser wieder langsam zu nähern, wobei sie jedoch gegen die Fixsterne immer noch rechtläufig fortschreitet. Die Annäherung an die Sonne rührt von dem Umstande her, daß diese sich rascher rechtläufig bewegt als die Venus.

Hat die Entfernung beider bis auf 28° abgenommen, so scheint ein Stillstand in der Bewegung der Venus eingetreten zu sein; sie ist stationär geworden. Nach diesem Stillstande aber fängt sie an, sich der Sonne mit retrograder Bewegung, d. i. gegen die Reihenfolge der Zeichen oder von O. nach W., mit wachsender Geschwindigkeit zu nähern. Zur Zeit ihrer schnellsten retrograden Bewegung, bei ihrer unteren Conjunction, verschwimmt sie in den Strahlen der Sonne; aber einige Zeit nachher erscheint sie wieder als schmale Sichel westlich von der Sonne als Morgenstern, um sich von dieser allmählich mit abnehmender Geschwindigkeit bis auf 28° zu entfernen und in dieser Entfernung zum zweitenmale stationär zu werden. Die Zeit der retrograden Bewegung der Venus vom östlichen bis zum westlichen Stillstande beträgt 41 Tg.

Von dem Punkte des westlichen Stillstandes beginnt die Venus wieder langsam ihre rechtläufige Bewegung, indem sie aber langsamer als die Sonne fortschreitet, bleibt sie hinter dieser allmählich bis auf 48° zurück. Von nun an beginnt sie mit immer schneller werdender, rechtläufiger Bewegung sich der Sonne wieder zu nähern, bis sie dieselbe, zur vollen Scheibe angewachsen, bei der oberen Conjunction erreicht und in der beschriebenen Weise ihren Lauf von neuem beginnt.

Der Zeitraum, nach welchem der ganze Wechsel der Erscheinungen ziemlich regelmäßig sich wiederholt, beträgt 582 Tg., der Bogen aber, um welchen sie gegen die Fixsterne rückläufig sich bewegt, ist 16° groß.

Ganz ähnliche Erscheinungen bietet der Lauf des **Merkur** dar, sowohl in seinen Phasen, als auch in seiner Bewegung; nur sind für ihn die Zahlenverhältnisse bedeutend kleiner.

Er kann sich höchstens 23° östlich und westlich von der Sonne entfernen, wird schon in 18° Entfernung von ihr stationär und vollendet den ganzen Wechsel der Erscheinungen schon in 116 Tg. Die Zeit seiner rückläufigen Bewegung ist 17½ Tg. und der bei dieser Bewegung durchlaufene Bogen = 12½°.

Um eine Vorstellung von der eigenthümlichen Gestaltung der scheinbaren Bahn der inneren Planeten zu geben, habe ich nach den Ephemeriden des astronomischen Jahrbuches für 1857 den Lauf Merkurs für das Jahr 1857 und den interessantesten Theil der scheinbaren Venusbahn vom 1. Januar bis zum 1. September 1857 in *Fig. 73* und *74* dargestellt.

Besonders interessant erscheint der Lauf Merkurs durch die eigenthümlichen Verschlingungen der Bahn im Januar und Februar, im Mai und Juni und im September. Einer besonderen Erläuterung werden die Figuren nicht bedürfen, da die Oerter der Planeten und der Sonne, sowie die entsprechenden Daten deutlich angegeben worden sind. *Fig. 74* zeigt außer der Venusbahn noch die Bahn eines äußeren Planeten, Jupiters, für die Jahre 1857 bis 1859.

Fig. 73.

Scheinbarer Lauf Merkurs während des Jahres 1857.

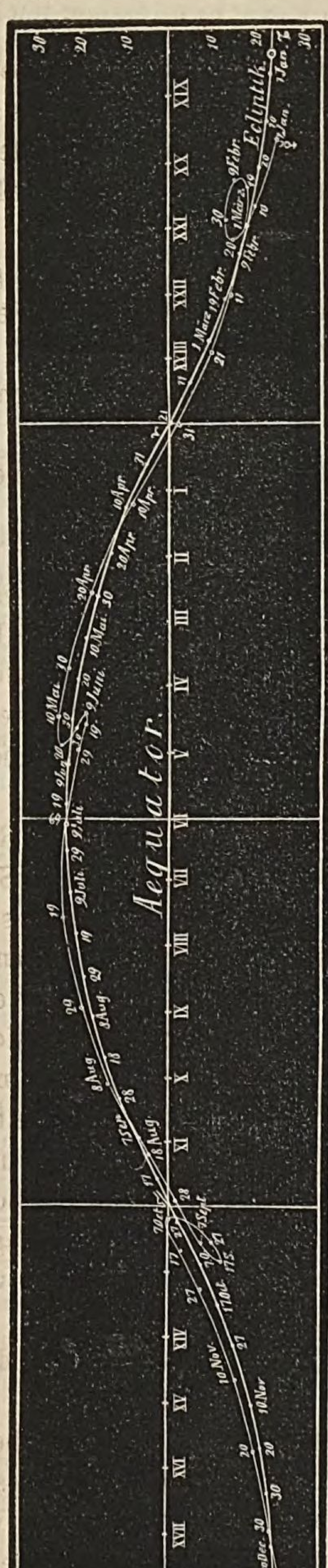
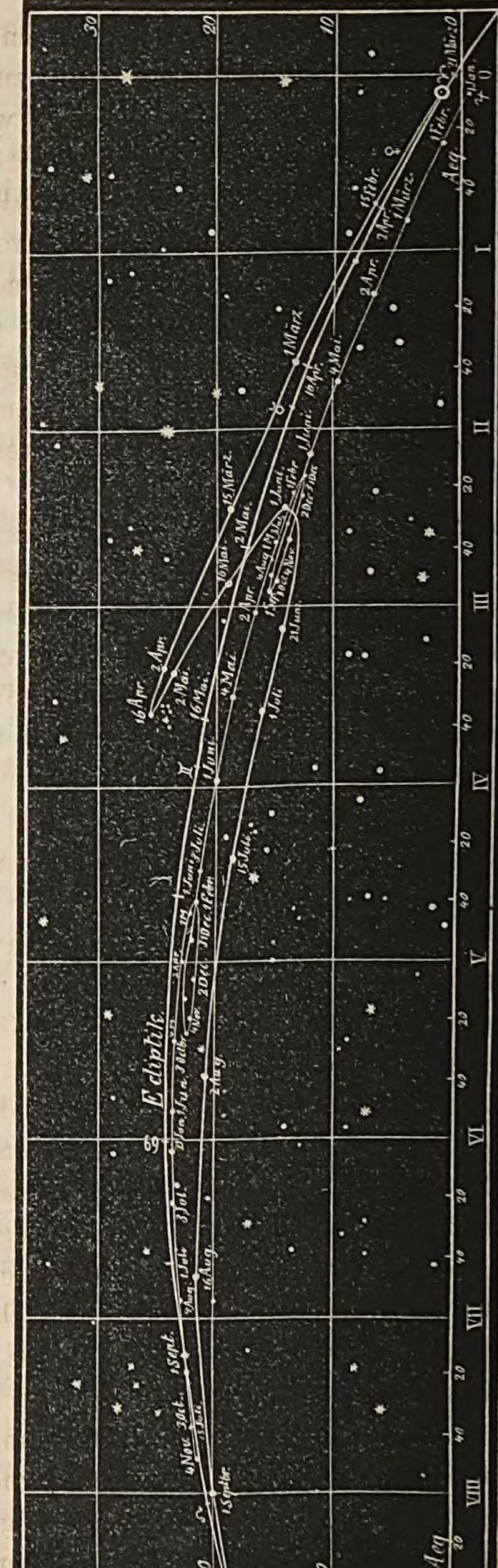


Fig. 74.

Scheinbarer Lauf der Venus im Jahre 1857 und Jupiters während der Jahre 1857—1859.



Uebrigens sei noch bemerkt, daß die Form der Bahnen in verschiedenen Jahren sich verschieden gestaltet.

Zusammenfassung. Fassen wir die Eigenthümlichkeiten der beiden genannten inneren Planeten kurz zusammen, so ergiebt sich Folgendes:

1) Sie zeigen einen Phasenwechsel und mit diesem verbunden einen Wechsel der scheinbaren Größe. Sie erscheinen am kleinsten als Scheiben, am größten als schmale Sicheln.
2) Sie entfernen sich nie weit von der Sonne, können ihr darum nie gegenüber oder in Opposition mit ihr stehen; sie haben aber zwei Conjunctionen, eine untere und eine obere.
3) Sie bewegen sich mit sehr ungleichmäßiger Geschwindigkeit, am schnellsten stets in der Nähe der Conjunctionen.
4) Ihre Bewegung ist eine zweifache, nämlich eine recht- und eine rückläufige.
5) Sie werden stationär, ehe sie ihre Richtung ändern.

7. **Scheinbare Bewegung der oberen Planeten.** In manchen Beziehungen ähnlich, im allgemeinen aber doch verschieden, fallen die Erscheinungen für die oberen Planeten aus. Wählen wir zur Betrachtung derselben den **Mars**, den uns nächsten der oberen Planeten, der sich am Himmel durch seinen oft bedeutenden Glanz und sein röthliches Licht auszeichnet und daran leicht kenntlich ist.

Wie Merkur und Venus, steht auch er zuweilen nach derselben Richtung oder in Conjunction mit der Sonne und verschwindet dann in ihren Strahlen. Einige Zeit nachher wird er rechts oder westlich von der Sonne sichtbar, geht kurz vor ihr auf und erscheint dann in seiner kleinsten scheinbaren Größe. Bei diesem Stande ist der Planet in Beziehung auf die Fixsterne rechtläufig, und zwar mit der größten Geschwindigkeit; doch entfernt er sich trotz derselben mehr und mehr von der rascher nach O. rückenden Sonne und geht immer früher vor ihr auf. Allmählich aber wird seine Geschwindigkeit geringer, seine Entfernung von der Sonne immer größer, bis er, wenn er ungefähr 137° westlich von der Sonne absteht, stationär wird. Wenn er sich nach dem Stillstande wieder in Bewegung setzt, so geschieht es etwa 70 Tage lang rückläufig, und diese rückläufige Bewegung erscheint am größten, wenn er 180° von der Sonne entfernt ist, ihr also gerade gegenüber- oder in Opposition mit ihr steht. Der Planet geht dann um Mitternacht durch den Meridian; zugleich erscheint nun sein Durchmesser am größten.

Indem die westliche Entfernung des Planeten von der Sonne über 180° wächst, erfolgt von O. her eine scheinbare Annäherung beider Himmelskörper, und wenn diese bis auf 137° erfolgt ist, der Planet also 137° östlich von der Sonne steht, so wird er zum zweitenmale stationär, worauf er sich bei rechtläufiger Bewegung der Sonne bis zur Conjunction mit derselben nähert, um dann, wenn er diese Stellung zur Sonne erreicht hat, in angegebener Weise seinen Lauf von neuem zu beginnen.

Der Zeitraum, in welchem der ganze Wechsel der Erscheinungen erfolgt, umfaßt 780 Tage; doch ist diese Zahl, wie auch die oben angegebene, Veränderungen unterworfen. So schwankt die Entfernung von der Sonne zur Zeit des Stillstandes zwischen 129° und 137°. Der Bogen des Rückgangs hat eine Länge von 14°, die Zeit des Rückgangs aber eine Dauer von ungefähr 70 Tagen.

Betrachtet man Mars mit einem Fernrohr, so zeigt er sich zwar nicht immer vollkommen als Scheibe; er weicht aber doch höchstens soviel als der Mond 3 bis 4 Tage vor dem Vollmonde davon ab, so daß man bei ihm von Phasen eigentlich nicht reden kann; wenigstens erscheint er nie als Sichel.

Die Veränderlichkeit der scheinbaren Größe des Planeten erkennt man mit bloßen Augen, wenn auch nicht unmittelbar an dem scheinbaren Durchmesser, so doch mittelbar an der Veränderlichkeit des Glanzes, in welchem er am Himmel gesehen wird. Er erscheint stets am glänzendsten und am größten zur Zeit seiner Opposition, muß uns hier also am nächsten sein; am wenigsten hell und am kleinsten zeigt er sich dagegen zur Zeit seiner Conjunction, und muß daher in dieser am weitesten von uns abstehen.

Für die übrigen oberen Planeten treten ganz ähnliche Verhältnisse ein, nur mit dem Unterschiede, daß die Dauer der ganzen Periode des Wechsels, sowie die Ausweichung von der Sonne zur Zeit des Stillstandes, und die Länge des Bogens des Rückganges mit der größeren Entfernung von der Sonne kleiner, dagegen die Dauer des Rückgangs größer wird, wie aus folgender Uebersicht zu ersehen ist.

Dauer der ganzen Periode.	**Ausweichung** von der Sonne beim Stillstande.	**Bogen** des Rückgangs.	**Dauer** des Rückgangs.
Mars 779,9 Tage	137°	14°	70 Tage
Jupiter . . . 398,8 »	117	10	119 »
Saturn . . . 378,0 »	108	7	136 »
Uranus . . . 367,5 »	102	4	150 »

Den scheinbaren Lauf Jupiters in den Jahren 1857 bis 1859 zeigt die schon genannte *Fig. 74*.

Zusammenfassung. Vergleichen wir die an den inneren und äußeren Planeten betrachteten Erscheinungen, so ergiebt sich als für beide gleich:

1) sie bewegen sich mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit;
2) sie können recht- und rückläufig werden;
3) sie werden vor Aenderung der Richtung stationär.

Als Verschiedenheiten stellen sich heraus:

1) die inneren Planeten zeigen einen Phasenwechsel, die äußeren nicht, oder doch kaum Andeutungen davon;

2) die inneren Planeten treten mit der Sonne nie in Opposition, sondern nur in untere und obere Conjunction, während die äußeren Planeten in Opposition und in (oberer) Conjunction mit der Sonne stehen können.

Zweites Kapitel.

Von den Versuchen der Alten, die Bewegungen der Planeten zu erklären. Planetensysteme.

In dem Obigen haben wir die Haupterscheinungen kennen gelernt, welche eine etwas aufmerksame Beobachtung der Planeten ergiebt. Sie waren, mit Ausnahme des Phasenwechsels, auch schon im Alterthume bekannt, namentlich waren einmal die unregelmäßige Bewegung, mit der die Planeten unter den Fixsternen einhergehen, sodann auch das Stationärwerden derselben bekannte Thatsachen, die man mit dem Namen der beiden Ungleichheiten zu benennen pflegte. Sie waren geeignet, die Aufmerksamkeit der Astronomen auf die Planeten zu lenken und jene anzuregen, nach dem Schlüssel der räthselhaften Erscheinungen, nach einer Erklärung derselben zu forschen. Sie haben diese Erklärung versucht, und es ist interessant zu sehen, einmal, welche Anstrengungen gemacht worden sind, um sich der Wahrheit schrittweise zu nähern, zugleich aber auch, wie weit man sich von der Wahrheit entfernen kann, wenn man bei der Beurtheilung von Thatsachen von vorgefaßten Meinungen und Vorurtheilen ausgeht.

1. Ansichten der Alten. Im allgemeinen blieb man im Alterthume bei dem Scheine stehen, dachte sich die Himmelskugel als eine krystallene Schale, an welcher die Sterne befestigt wären, und ließ diese mit der Schale sich täglich einmal um die Erde schwingen, die deshalb als der ruhende Mittelpunkt der Welt gedacht wurde. Ueber den Bau dieser Welt selbst wurden oft die wunderlichsten Ansichten aufgestellt. Es würde uns hier aber zu weit führen, auf dieselben näher einzugehen, wenngleich die Sache von historischem Interesse sein mag; auch würde unsere Anschauung vom wahren Sachverhalte, soweit er bis heute erforscht ist, dadurch nicht weiter gewinnen.

Indessen haben doch die Meinungen Einiger eine solche Berühmtheit erlangt, daß sie nicht ganz mit Stillschweigen übergangen werden können, zumal sie als der Ausdruck des Zeitbewußtseins ganzer Jahrhunderte angesehen werden können. Außerdem aber erscheint auch aus anderen Rücksichten bei der in Rede stehenden Sache der historische Gang als der naturgemäßeste und lehrreichste.

Unter den griechischen Philosophen war es gegen Ende des 4. Jahrhunderts v. Chr. besonders *Eudoxus* aus Knidos, ein Schüler und Freund des *Plato*, dessen Ansichten über den Weltenbau bei den ausgezeichnetsten Philosophen Anhänger fand. Unter anderen war ihnen auch *Aristoteles* zugethan, der in

späteren Jahrhunderten als die größte wissenschaftliche Autorität angesehen wurde. — *Eudoxus* hatte seine für die damalige Zeit bedeutenden astronomischen Kenntnisse sich besonders bei den ägyptischen Priestern erworben, und er wird von *Cicero* dashalb ein »Fürst unter den Astronomen« genannt.

Nach ihm stand die Erde unbeweglich im Mittelpunkte der ganzen Welt, und um sie kreiseten in immer weiteren Entfernungen der Mond, die Sonne und die übrigen damals bekannten fünf Planeten: Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn, und über diesen das Heer der Fixsterne.

Von den Griechen kam diese Ansicht wieder nach Aegypten zurück, und *Ptolemäus,* ein Schüler der Alexandrinischen Schule, der ungefähr 150 n. Chr. starb, bildete dieselbe zu einem vollständigen Systeme aus, das bis zum 15. Jahrhunderte im höchsten Ansehen stand und unter dem Namen des Ptolemäischen Systems bekannt ist. Er selbst giebt in seinem bekannten Werke »Almagest« näheren Aufschluß über sein System, und wir lassen hier das Wesentlichste über die Einrichtung desselben folgen.

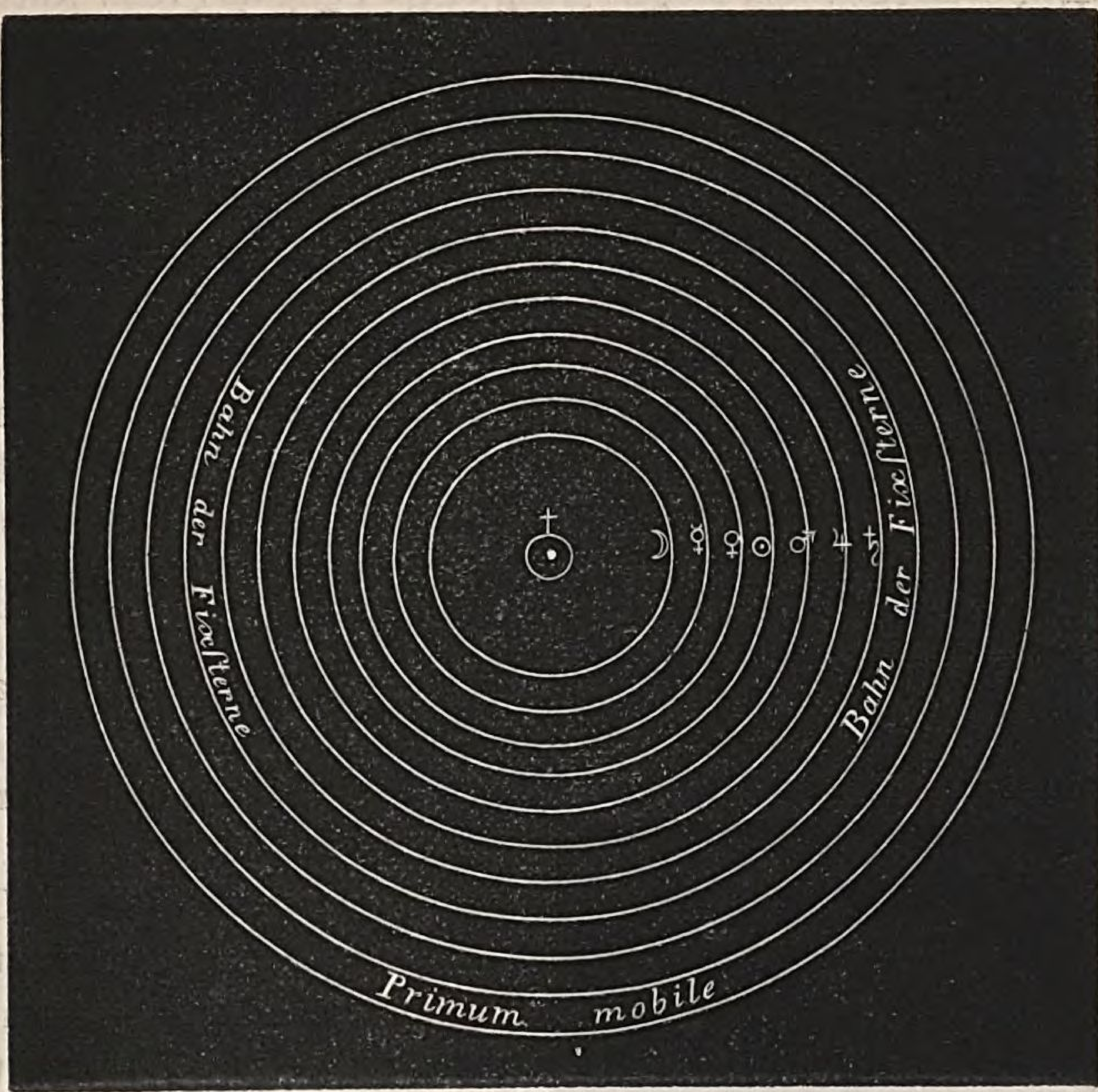
2. **Das Ptolemäische System.** Nach demselben steht die Erde unbeweglich in dem Mittelpunkte der Welt, und um diesen bewegen sich in sieben immer größer werdenden Kreisen die oben genannten Körper. Ueber die gegenseitige Entfernung der Planeten war so gut wie nichts bekannt. *Ptolemäus* ordnete sie, wie sie der Zeit ihres Umlaufes um die Erde nach auf einander folgten, indem er den Planeten mit der kürzesten Umlaufszeit für den nächsten hielt. Darum durchlief der Mond den ersten, Saturn den letzten der genannten sieben Kreise.

Der 8. Kreis über den Planetenbahnen bezeichnete die Region, in welcher sich die Fixsterne bewegten, und um den gleichzeitigen Umschwung aller um die Erde zu erklären, wurde dieselbe als eine krystallene Kugelschale gedacht, der die Sterne wie Edelsteine eingeheftet wären (*sidera infixa coelo,* dem Himmel eingeheftete Sterne, woraus *sidera fixa,* Fixsterne, geworden ist).

Der 9. und 10. Kreis hatten die Bestimmung, die Erscheinung der Präcession der Nachtgleichen zu erklären, und der 11. und letzte Kreis endlich war der Sitz der geheimnisvollen Kraft, welche über den Sternen den täglichen Umschwung der Sphäre um die Erde bewirkte; man nannte ihn das *Primum mobile.* Um die eigenthümliche Bewegung der Planeten zu erklären, glaubte man sie mit einer eigenen Kraft begabt, die namentlich ihre Bewegungen von W. nach O. verursachte. Die Einrichtung des Systems wird leicht aus *Fig. 75* erkannt werden.

3. **Mängel des Systems.** Schon die oberflächlichste Vergleichung dieses Systems mit dem, was wir über die Bewegung der Planeten kennen gelernt haben, genügt, um es als ein durchaus falsches zu erkennen, da unmöglich die besprochenen Erscheinungen dadurch erklärt werden können. Einmal müßten, anderer Widersprüche gar nicht zu gedenken, nach dieser Anordnung der Planeten Merkur und Venus der Sonne gegenüber- oder mit ihr in Opposition stehen können, was durchaus nicht der Fall ist. Da man ferner

Fig. 75.



den Kreis wegen seiner Regelmäßigkeit als die allein angemessene Form der Bahn und die Bewegung der Planeten in den Kreisen als vollkommen gleichmäßig annahm, so war die an den Planeten wahrgenommene ungleichmäßige Bewegung, die man die erste Ungleichheit zu nennen pflegte, nicht erklärlich; ebenso wenig ließ die Einrichtung des Systems eine Erklärung für das Stationärwerden, sowie für den Wechsel der recht- und rückläufigen Bewegung der Planeten in gewissen Abständen von der Sonne zu. Diese letztere Unregelmäßigkeit im Laufe der Planeten ward die zweite Ungleichheit genannt. Hören wir, wie *Ptolemäus* diese Widersprüche der Beobachtung mit seinem System zu heben suchte.

4. **Erklärung der ersten Ungleichheit.** Die erste Ungleichheit der Planeten besteht also darin, daß sich dieselben in ihrer Bahn bald schneller, bald langsamer bewegen, und daß dieselben Verhältnisse sich wiederholen, wenn die Planeten wieder dieselbe Stellung zu den Fixsternen angenommen haben, so daß also die siderische Revolution für die erste Ungleichheit bestimmend ist. Am einfachsten tritt diese Ungleichheit bei der Sonne und dem Monde auf, da sie nicht, wie bei den übrigen Planeten, mit der zweiten gemischt ist, indem Sonne und Mond weder stationär noch rückläufig werden.

Es ist uns aber schon bekannt, daß sich die Sonne (scheinbar) am schnellsten am Anfange des Januar bewegt, wenn die Erde in der Sonnennähe ist,

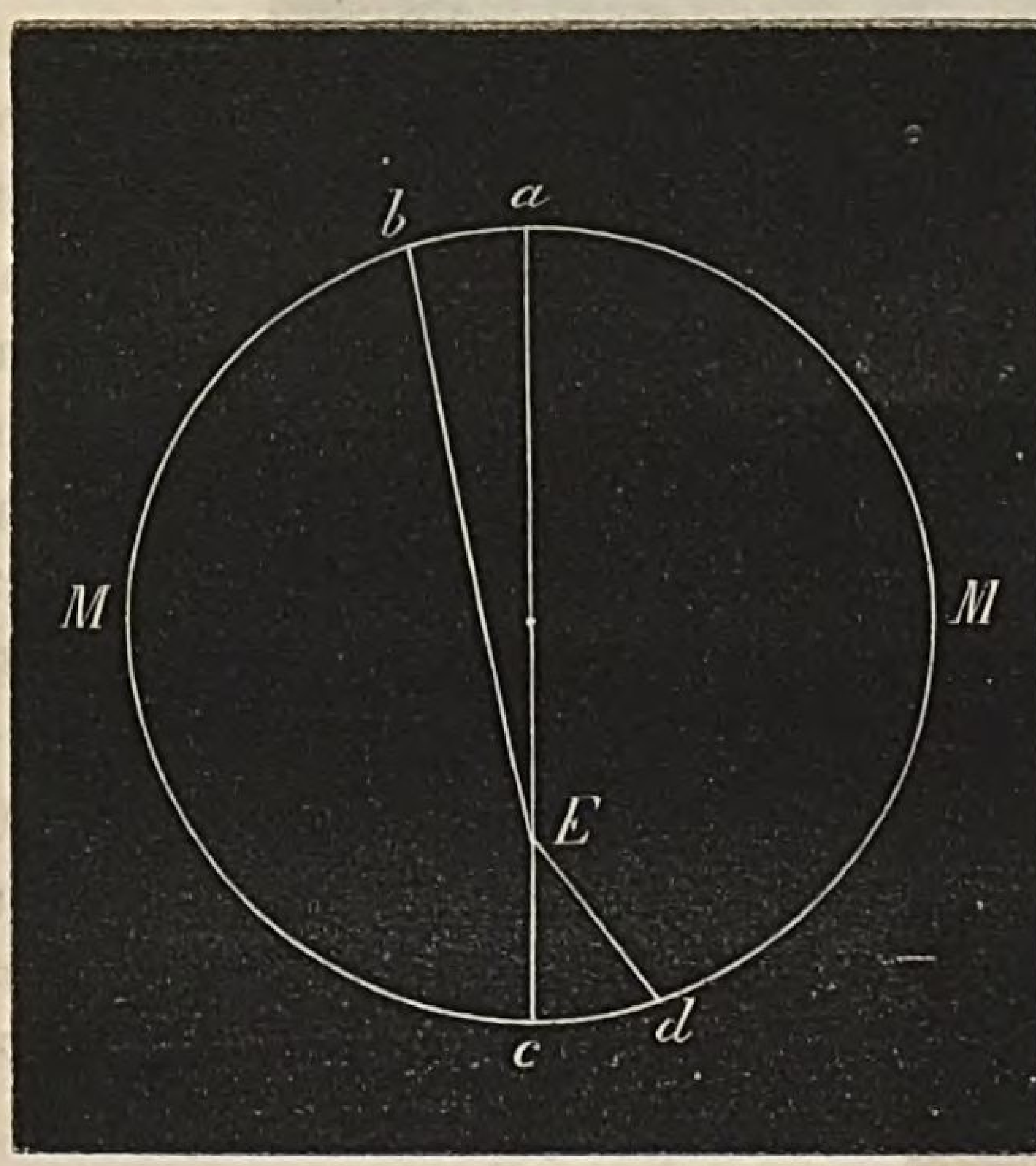
am langsamsten im Anfange des Juli, wenn die Erde in der Sonnenferne sich befindet. Aehnliches gilt vom Monde, wenn er im Perigäum resp. Apogäum steht.

Ptolemäus und seine Anhänger suchten diese Ungleichheit zu erklären, indem sie annahmen, daß allerdings die Planeten mit gleichmäßiger Geschwindigkeit in Kreisen um die Erde einhergingen, diese letztere aber nicht im Mittelpunkte, sondern außerhalb desselben stehe. Man nahm somit den excentrischen Kreis zur Hilfe, und es läßt sich nicht leugnen, daß sich die erste Ungleichheit, wenigstens im allgemeinen, dadurch erklären läßt.

Wenn nämlich die Erde nicht im Mittelpunkte steht, so muß ein gleiches Bahnstück wegen der ungleichen Entfernung der Erde von ihm unter ungleichen Winkeln erscheinen, und zwar um so größer, je kleiner die Entfernung ist, und umgekehrt.

Wären z. B., *Fig. 76*, Kreis *MM'* die Mondbahn und in derselben *ab* und *cd* gleiche, vom Monde in gleicher Zeit durchlaufene Bogen, so würden diese von der Erde *E* aus unter ungleichen Winkeln erscheinen; denn offenbar ist Winkel *aEb* kleiner als *cEd*. Von *c* bis *d* müßte sich also der Mond schneller als von *a* bis *b* zu bewegen scheinen.

Fig. 76.



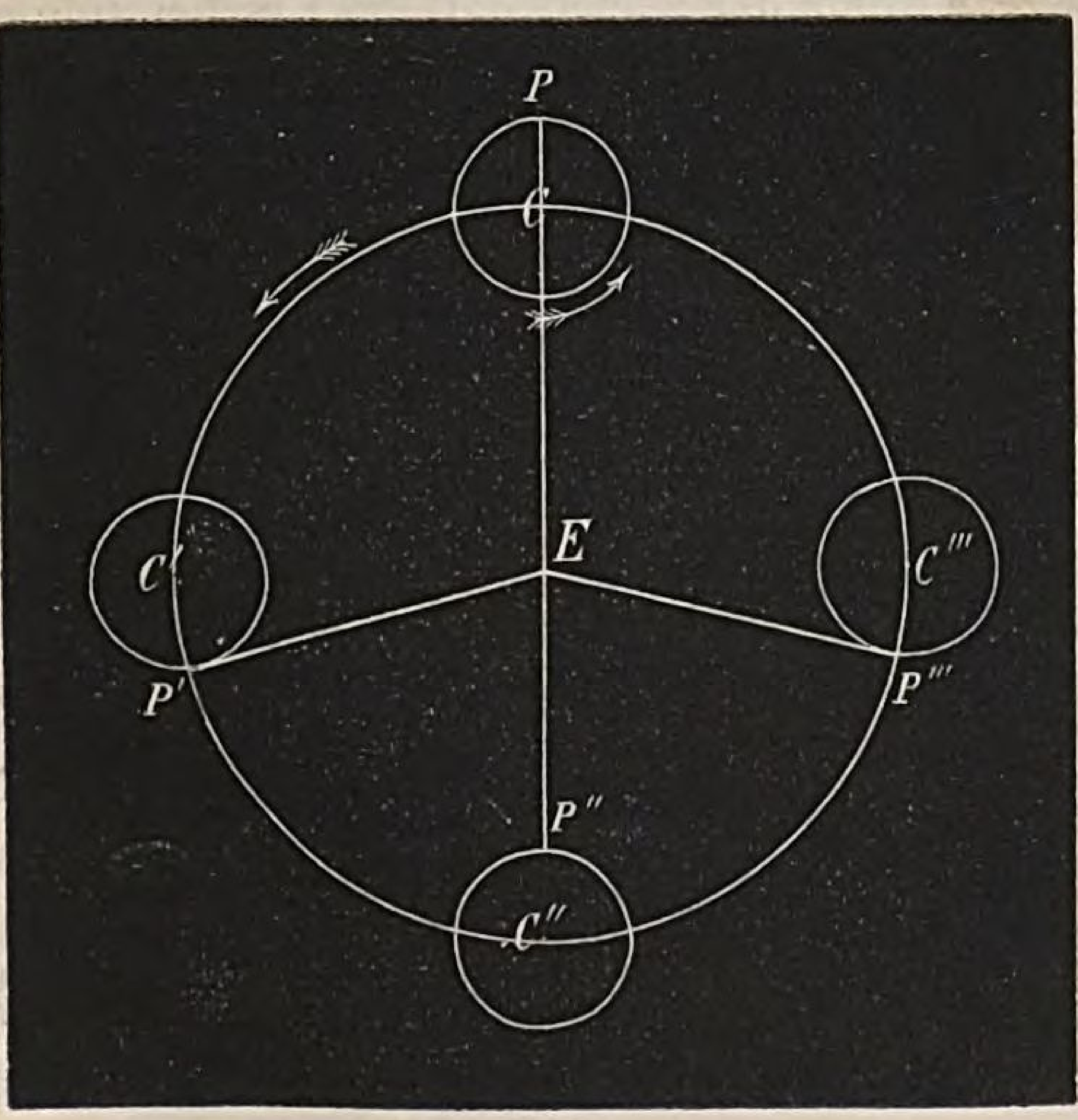
5. **Ungenauigkeit der Erklärung.** Wenn aber unter der Annahme des excentrischen Kreises die erste Ungleichheit der Planeten auch im großen Ganzen erklärt werden kann, so zeigt sich doch bei näherer Prüfung die Unzulänglichkeit und Falschheit der Annahme. Denn wäre die verschiedene Geschwindigkeit der Planeten wirklich nur eine scheinbare, durch die ungleiche Entfernung der Erde von ihnen hervorgerufene, so müßte das Verhältnis des Maximums und Minimums der Geschwindigkeit gleich dem ebenfalls von der Entfernung abhängigen Verhältnis der scheinbaren Durchmesser der Planeten sein. Diese Probe der Richtigkeit oder Falschheit der Annahme hätten die Alten mit ihren damaligen Beobachtungsmitteln, wenigstens an Sonne und Mond, wohl anstellen können. Nun verhält sich aber die Zahl der kleinsten zur Zahl der größten Geschwindigkeit des Mondes wie 1 : 1,303, während das Verhältnis des kleinsten zum größten scheinbaren Durchmesser nur wie 1 : 1,141 ist. Diese beiden Verhältnisse hätten, wäre die Annahme des excentrischen Kreises richtig gewesen, einander gleich sein müssen, was doch durchaus nicht der Fall ist. Ein excentrischer Kreis kann also hiernach die Mondbahn nicht sein, und zu einem ähnlichen Resultate gelangt man bei Beobachtung aller Planeten.

Wenn man aber die Zahlen für das Verhältnis der scheinbaren Durchmesser, 1 : 1,141, mit sich selbst multiplicirt oder sie ins Quadrat erhebt, so erhält man ein dem Geschwindigkeits-Verhältnis des Mondes gleiches Verhältnis. Es ist also das Verhältnis der kleinsten und größten Geschwindigkeit dem Quadrate des Verhältnisses der entsprechenden scheinbaren Durchmesser gleich, und dies ist eine Wahrheit, aus der sich leicht das wirklich bestehende Sachverhältnis hätte ableiten lassen. Es sollte indessen noch lange währen, ehe man zu dieser richtigen Ansicht gelangte.

6. **Erklärung der zweiten Ungleichheit.** Die zweite Ungleichheit der Planeten besteht, wie schon erwähnt, darin, daß die Planeten, wenn sie in eine gewisse Stellung zur Sonne gekommen sind, mit Ausnahme des Mondes und der Sonne, stationär werden und darauf einen Wechsel in der Richtung ihrer Bewegung zeigen. Der Umstand, daß stets dieselben Verhältnisse mit der gleichen Stellung der Planeten zur Sonne wiederkehrten, hätte auf die Abhängigkeit der Planetenbewegung von der Sonne hinweisen können; allein die Ansicht von der ruhenden Erde im Mitelpunkte der Welt war zu fest gewurzelt, als daß ein Zweifel an der Richtigkeit des Systems hätte aufkommen können.

Ptolemäus und nach ihm andere Astronomen halfen sich auf eine andere, ziemlich scharfsinnige Art. Ersterer nahm nämlich an, daß diejenigen Planeten, welche einen Stillstand, ein Vor- und Rückwärtsgehen zeigten, nicht unmittelbar in dem ihnen im Systeme angewiesenen Kreise fortschritten, sondern daß diese Kreise nur der Weg für den Mittelpunkt eines andern Kreises seien, in welchem der Planet sich wirklich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit in der Zeitdauer des beobachteten Wechsels der Erscheinung bewege. Man nannte jenen Kreis für den Mittelpunkt den deferirenden Kreis, den kleineren, von dem Planeten wirklich durchlaufenen Kreis aber den Epicykel.

Fig. 77.



Mit Hilfe solcher Epicykel läßt sich die zweite Ungleichheit, wenigstens im allgemeinen, ziemlich gut erklären, wie wir an *Fig. 77* näher nachweisen wollen.

Es sei Punkt *E* die Erde; um sie bewege sich ein Planet in Epicykeln, deren Mittelpunkt auf dem deferirenden Kreise *C C' C'' C'''* mit gleichmäßiger Geschwindigkeit von W. nach O. fortschreitet.

Ist der Mittelpunkt des Epicykels in *C* und der Planet in *p*, so bewegt er sich, von der Erde aus betrachtet, nach derselben Richtung mit dem Mittelpunkte; seine beobachtete Fortschreitung

muß darum die Summe der Bewegung beider sein, und zwar eine rechtläufige; zugleich muß der größten Entfernung wegen der scheinbare Durchmesser des Planeten am kleinsten sein. Während der Mittelpunkt des Epicykels nach C' und der Planet unterdessen nach p' rückt, muß zwar des letzteren Bewegung noch immer rechtläufig gewesen sein, sich aber doch mehr und mehr verlangsamt haben. Denn während in p die Richtung der Bewegung rechtwinklig zur Gesichtslinie Ep war, und darum die Bewegung unter dem größten Winkel erschien, bewegt sich der Planet auf dem Wege nach p' mehr und mehr, und in p' selbst gerade auf die Erde zu. Es muß darum die Bewegung des Planeten wegen veränderter Richtung derselben unter immer kleineren Gesichtswinkeln erscheinen und endlich in p' gänzlich scheinbar verschwinden: Der Planet hat in p' seinen östlichen Stillstand. Schreitet der Mittelpunkt des Epicykels nach C'' und der Planet nach p'', so wird allmählich die Gesichtslinie von E aus wieder rechtwinklig zur Richtung der Bewegung; doch ist diese der Bewegung des Mittelpunktes entgegengesetzt, und wenn jene Bewegung, wie angenommen werden muß, schneller ist als die letztere, so muß der Planet sich mit der Differenz der Bewegung beider rückläufig bewegen, und zwar in p'' am schnellsten. Zugleich muß der Planet den größten scheinbaren Durchmesser zeigen.

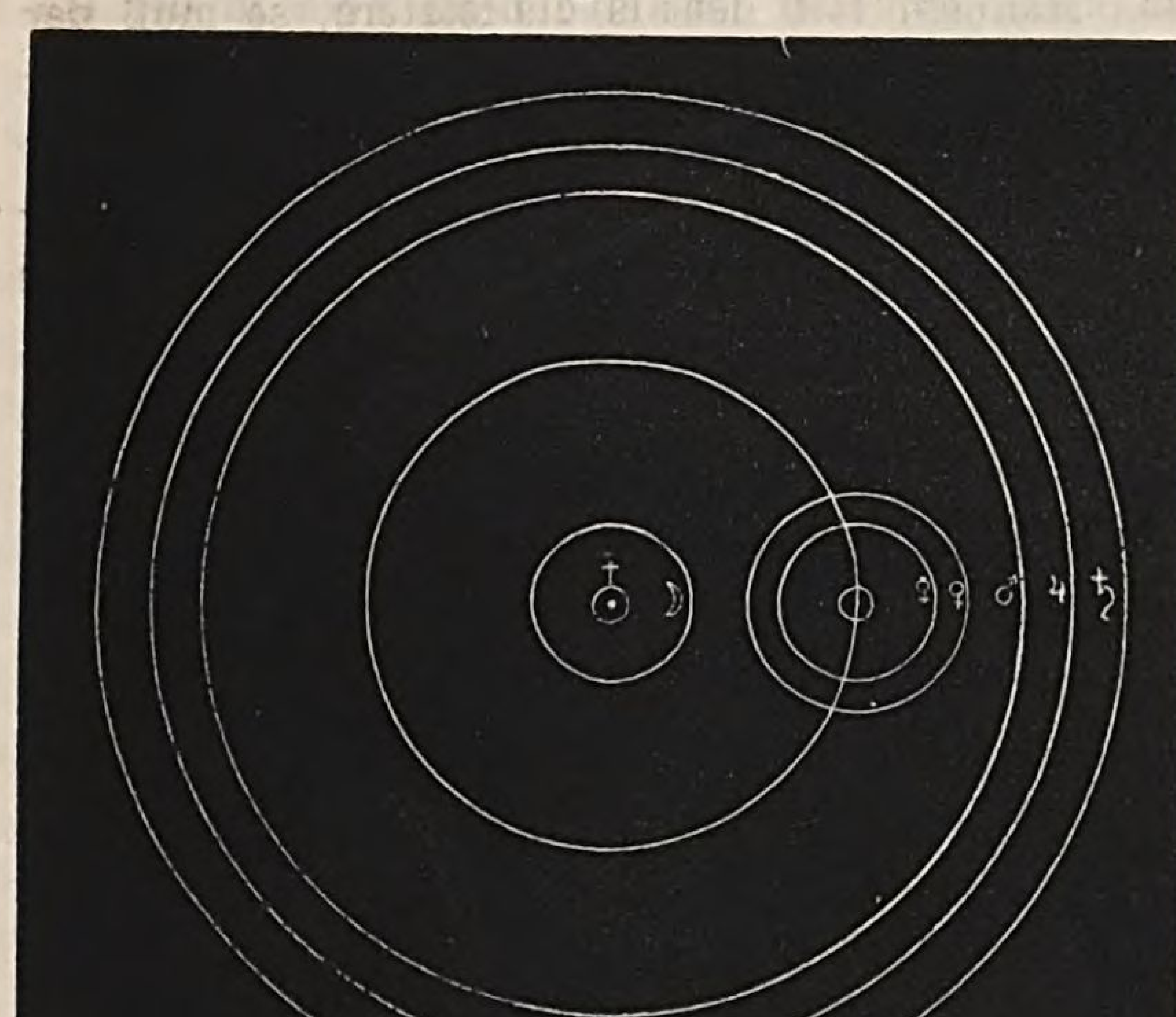
Auf dem Wege des Mittelpunktes von C'' zu C''' und des Planeten von p'' zu p''' muß die rückläufige Bewegung dieses sich mehr und mehr verlangsamen bis in p''' die Richtung der Bewegung wieder mit der Gesichtslinie zusammenfällt und der Planet zum zweitenmale stationär geworden ist. Indem der Mittelpunkt zum Anfangspunkte C, der Planet zu seiner ersten Stellung in p zurückkehrt, beginnt er wieder langsam rechtläufig zu werden, bis in p die rechtläufige Bewegung ihr Maximum erreicht hat und der Vorgang sich in der beschriebenen Weise wiederholt.

Man sieht aus dieser kurzen Betrachtung der Sache, daß die Erscheinungen an den Planeten mit Hilfe der Epicykel sich ziemlich gut erklären lassen; doch reichen dieselben durchaus nicht aus, in allen Beziehungen Uebereinstimmung mit den Beobachtungen nachzuweisen. Je mehr die Beobachtungskunst bei verbesserten Instrumenten sich vervollkommnete, und je mehr und je feinere scheinbare Unregelmäßigkeiten man später in dem Laufe der Planeten entdeckte, desto verwickelter wurden die Erklärungsversuche; so ließ man sogar Epicykel als deferirende Kreise für andere Epicykel auftreten. Allein anstatt sich der Wahrheit zu nähern, kam man nur weiter von derselben ab, und im Laufe der Jahrhunderte erlangte das System durch immer neu hinzukommende Sphären und Epicykel (die Zahl derselben betrug zuletzt nicht weniger als 55), um nur einigermaßen mit den Erscheinungen im Einklange zu bleiben, eine solche Complicirtheit, daß es selbst Astronomen Mühe kostete, sich in dem Gewirr mannigfach verschlungener Kreise zurechtzufinden. Dessen ungeachtet wurde dasselbe im Mittelalter in den Schulen gelehrt, wieviel davon aber wohl verstanden? Als man es einst dem Könige *Alphons X.* von Castilien 1252 erläuterte, äußerte

er im Gefühle der Unnatürlichkeit desselben, daß er, wäre er bei der Schöpfung zugegen gewesen, dem Schöpfer Rath gegeben haben würde, den Weltenbau einfacher einzurichten.

7. **Aegyptisches System.** Neben dem Ptolemäischen Systeme suchte ein anderes sich Geltung zu verschaffen, das unter dem Namen des ägyptischen Systems bekannt geworden ist, und welches namentlich den Widerspruch der Erscheinungen an Merkur und Venus mit dem Ptolemäischen Systeme beseitigen sollte. Nach dem letzteren hätte nämlich Merkur und Venus auch müssen in Opposition mit der Sonne kommen können, was doch durchaus gegen die Erfahrung ist. Um diesen Zwiespalt zu lösen, nahm das ägyptische System, dessen Einrichtung *Fig. 78* zeigt, an, die Erde stehe allerdings in der Mitte des Systems, und um sie bewegten sich zuerst der Mond und dann die Sonne; diese aber sei der bewegliche Mittelpunkt der Bahnen für Merkur und Venus. Dann erst folgten Mars, Jupiter und Saturn in immer größer werdenden Kreisen, wie im Ptolemäischen System.

Fig. 78.



Daß Merkur und Venus nicht in Opposition, sondern nur in eine obere und untere Conjunction mit der Sonne kommen können, war freilich nach dem neuen System erklärt; im übrigen aber litt es an demselben Grundirrthume, da es die ruhende Erde in den Mittelpunkt des Systems setzte, und hätte es auch neben dem Ptolemäischen Systeme Anerkennung und Verbreitung gefunden, was indessen nicht der Fall gewesen, so wäre damit kein wirklicher Fortschritt begründet worden.

Da unter anderen der berühmte *Aristoteles* ähnliche Ansichten wie *Ptolemäus* über den Bau der Welt ausgesprochen hatte, so blieb des letzteren System bis zum Anfange des 16. Jahrhunderts in ungeschwächtem Ansehen, und religiöse Vorurtheile sowie einseitig aufgefaßte Stellen der Bibel haben nicht wenig dazu beigetragen, daß die Wahrheit den Menschen so lange verhüllt blieb.

Es gehörte in jenen Zeiten nicht geringe Freiheit des Geistes und ein Muth, den nur die überzeugende Kraft der Wahrheit zu geben vermag, dazu, mit einer neuen, an dem Bisherigen zweifelnden Ansicht hervorzutreten, da Schmach und

Verfolgung, ja wohl der Scheiterhaufen den kühnen Bekenner treffen konnte. Allein trotzdem fand die Wahrheit einen Verkündiger, und zwar in einem deutschen Astronomen, in *Nicolaus Copernikus*, der seine neue Lehre zugleich zu beweisen und endlich auch die Ungläubigsten von der Richtigkeit derselben zu überzeugen wußte, wenngleich es lange währte, ehe die bessere Erkenntnis allgemeinen Eingang fand.

Drittes Kapitel.

Das Copernikanische System und Erklärung der Erscheinungen nach demselben.

Ehe wir zu dem neuen Systeme des *Copernikus* übergehen, wird es angemessen sein, der Person dieses Mannes, mit dem eine neue Aera in der Geschichte der Astronomie beginnt, indem er das System der vorgefaßten Meinungen niederriß und an die Stelle desselben ein einfaches, der Natur gemäßes setzte, noch einige Worte zu widmen. Er ist der Begründer der neueren Astronomie; denn wenn auch er mit seiner neuen Lehre nicht sogleich die ganze Wahrheit ergriff, so hat er sich doch dadurch, daß er den rechten Standpunkt bezeichnete, von dem aus die am Himmel sich darbietenden Erscheinungen am einfachsten und übersichtlichsten sich darstellen, ein unsterbliches Verdienst erworben. Er hat die Schranken niedergerissen, welche die Entwicklung der Astronomie bisher verhindert hatten, und dieselbe, die seit Jahrhunderten in Stagnation gerathen war, wieder in Fluß gebracht; denn bald nach ihm sehen wir eine wichtige Entdeckung auf die andere folgen und die astronomische Wissenschaft sich zu nicht geahnter Blüte entwickeln, wozu freilich die inzwischen erfolgte Erfindung des Fernrohrs nicht wenig beigetragen hat.

1. **Nicolaus Copernikus** war am 19. Februar 1473 (nach anderen am 19. Januar 1473, oder am 24. Mai 1472, seinem Todestage) zu Thorn an der Weichsel geboren. Nach der in seiner Vaterstadt genossenen Schulbildung studirte er in Krakau Medicin; doch waren es besonders Mathematik und Astronomie, welche ihn anzogen, und deren Studium er sich auch mit großer Vorliebe widmete. Er leistete in diesen Gegenständen so Bedeutendes, daß er bereits in seinem 24. Lebensjahre in Rom, dem damaligen Sitze der Künste und Wissenschaften, Vorlesungen über Mathematik halten konnte, die mit dem größten Beifall aufgenommen wurden. Später ward er als Kanonikus an den Dom zu Frauenburg berufen, und als er hier von seinem Kapitel als Abgeordneter auf den Landtag zu Graudenz gesandt wurde, war er bemüht, das durch gesetzloses Münzen in Verfall gerathene Münzwesen zu regeneriren; doch waren seine Bemühungen ohne den gewünschten Erfolg, und seine Vorschläge wurden zu den Akten gelegt. Von nun an wandte sich *Copernikus*, angeregt durch zwei be-

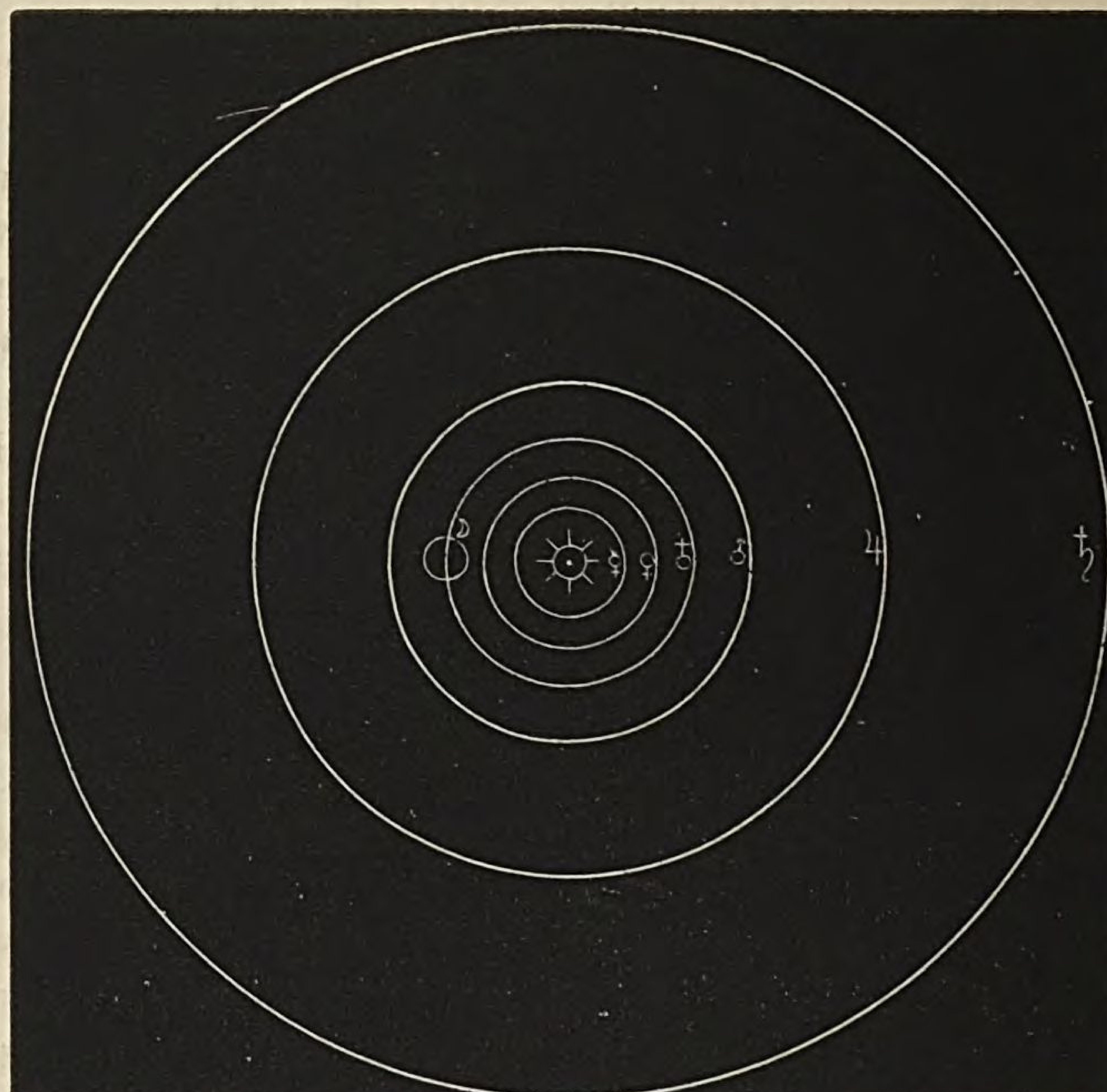
rühmte Astronomen seiner Zeit, *Peurbach* und *Regiomontanus* (*Joh. Müller* aus Königsberg in Franken), der Beobachtung der Gestirne und Astronomie zu, worin er so Vortreffliches geleistet hat.

Da in ihm der Gedanke lebendig war, daß die Natur durch einfache Mittel ihre großen Zwecke zu erreichen suche, so empfand er bei der Beschäftigung mit dem Ptolemäischen Systeme das Naturwidrige desselben. Er sann darum, zum Theil angeregt durch Ansichten einiger griechischen Philosophen, die eine Bewegung der Erde um ihre Achse und um die Sonne behauptet hatten, selbständig über den Bau der Welt nach und kam dadurch zu den für die Astronomie so wichtigen Ergebnissen, die er in einem aus sechs Büchern bestehenden größeren Werke, betitelt: »*De orbium coelestium revolutionibus*«, bekannt gemacht und der Nachwelt hinterlassen hat. Dieses Werk, das im Manuscripte bereits 1530 vollendet war, wurde später auf vieles Zureden hochgestellter Personen, namentlich des Kardinals *von Schönberg*, Bischofs zu Padua, gedruckt und am 24. Mai 1543, am Todestage des *Copernikus*, vollendet; doch konnte diesem die glückliche Vollendung des Werkes noch vor seinem Ableben mitgetheilt werden. Die Leiche des so berühmt gewordenen Mannes ward in dem Dome zu Frauenburg ohne Pomp beigesetzt.

In dem genannten Werke, dem Papste *Paul III.* gewidmet, bekennt *Copernikus*, daß seine neuen Ansichten mannigfachen Widerspruch, ja vielleicht Spott erfahren werde, da er es wage, eine neue Lehre aufzustellen, die der bisher fast allgemein als wahr angenommenen widerspreche und auch mit gewissen Stellen der Bibel nicht in Einklang zu stehen scheine. Allein das Andringen mehrerer Freunde und der Umstand, daß die Mathematiker die Erscheinungen nicht zu erklären vermöchten, auch dabei unter einander selbst uneinig seien, habe ihn zur Veröffentlichung des Werkes bewogen. Auch hätten bereits mehrere griechische Philosophen eine Bewegung der Erde um sich selbst, ja selbst um das centrale Feuer gelehrt, und er hoffe, daß seine Ansichten bei gründlicher Prüfung von vorurtheilsfreien Mathematikern Anerkennung finden würden. Das Geschrei der unwissenden Menge glaube er verachten zu dürfen, und er bitte den Papst, durch die Würde seines Amtes das Werk fördern und ihn vor dem Biß der Verleumder schützen zu wollen. So wurde denn das Werk zu Nürnberg gedruckt, aber die von *Copernikus* geschriebene Vorrede unterdrückt, und dafür eine andere untergeschoben, in welcher zwar der Scharfsinn und die fleißigen Beobachtungen des Autors anerkannt werden, die Lehre selbst aber nur als eine neue Hypothese dargestellt wird, durch die man die Wahrheit nicht erfahre, welche allein die göttliche Offenbarung geben könne, die aber auf eine Berechnung führe, welche den Beobachtungen besser als die bisherigen Methoden entspreche. Alle Versuche der Freunde des *Copernikus*, die unterdrückte Vorrede gedruckt zu sehen, blieben erfolglos. Trotzdem aber fand die neue Lehre bald begeisterte Anhänger.

2. **Das Copernikanische System.** Nach der Ansicht des *Copernikus* ist nicht die Erde, sondern die Sonne der gemeinschaftliche Mittelpunkt aller

Fig. 79.



Planetenbahnen, und diese Bahnen sind Kreise. (?) Um die Sonne bewegen sich von W. nach O. in immer größer werdenden concentrischen Kreisen: 1) Merkur, 2) Venus, 3) die Erde, um die wieder der Mond kreiset, 4) Mars, 5) Jupiter, 6) Saturn, wie es *Fig. 79* darstellt. Was indessen die gegenseitigen Entfernungen betrifft, so war darüber damals noch nichts Zuverlässiges bekannt.

Außer der Bewegung um die Sonne haben die Planeten, wenigstens die Erde gewiß, eine Achsendrehung, und diese Bewegung bewirkt für die Erde den täglichen scheinbaren Umschwung des Himmels von O. nach W., sowie den Wechsel der Tageszeiten, während die Bewegung der Erde um die Sonne die Ursache des Wechsels der Jahreszeiten ist.

Alle übrigen Bewegungen, namentlich die sogenannten Ungleichheiten der Planeten, sind dadurch veranlaßt, daß dieselben nicht von einem ruhenden, sondern von einem bewegten Standpunkte aus betrachtet werden.

Schaut man das Copernikanische System an, so empfiehlt es sich vor dem Ptolemäischen sogleich durch seine große Einfachheit; es lassen sich durch dasselbe aber auch die Erscheinungen in befriedigender Weise erklären. Wie der Wechsel von Tag und Nacht durch die Rotation, der Wechsel der Jahreszeiten durch die Revolution der Erde um die Sonne entsteht, ist bereits ausführlich nachgewiesen worden. Es soll hier nur noch gezeigt werden, wie auch

der den Alten so räthselhafte Lauf der Planeten nach dem neuen Systeme sich wirklich so darstellen muß, wie die Beobachtung ihn zeigt.

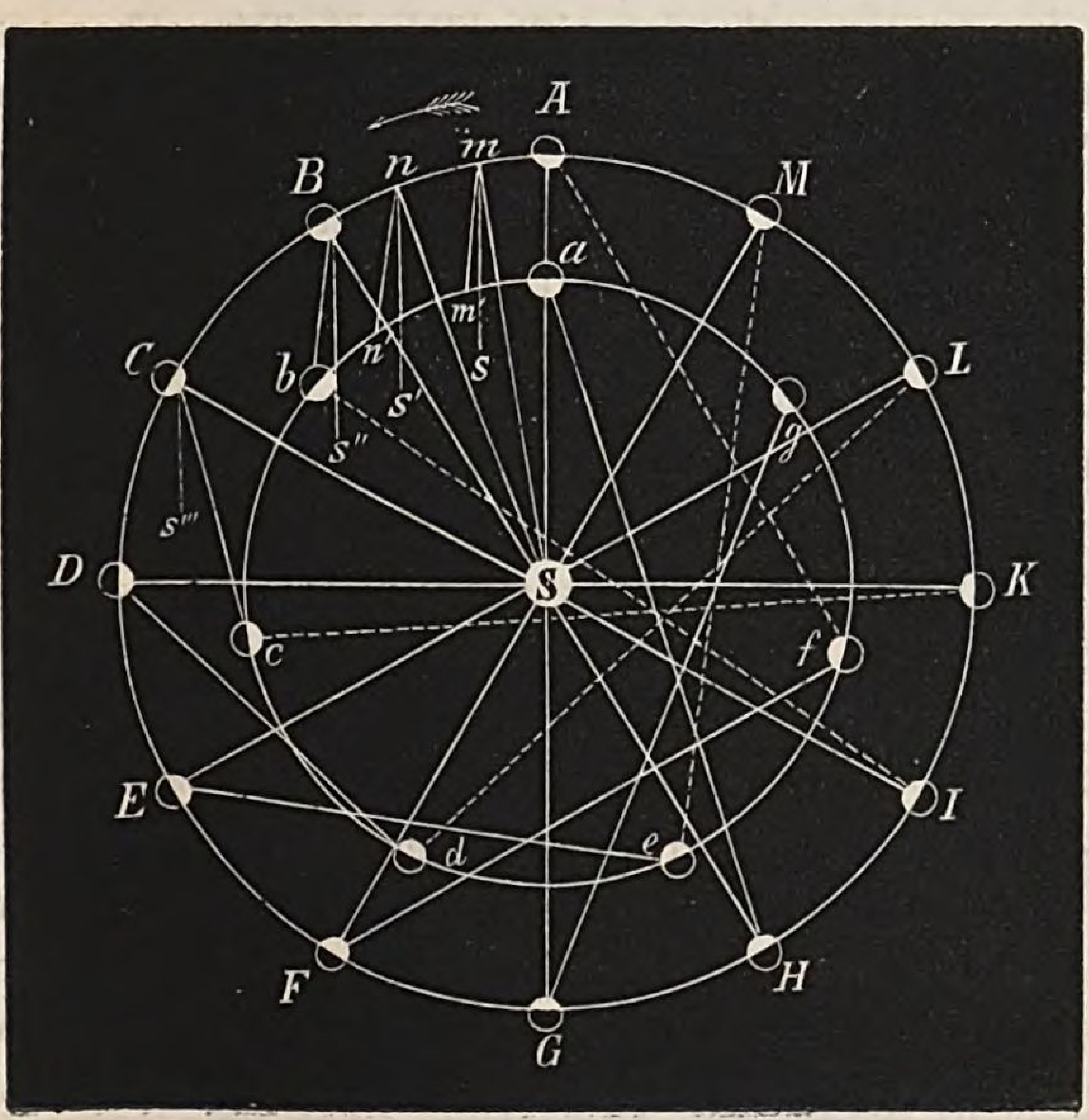
3. **Scheinbarer Lauf der unteren Planeten.** Nach dem neuen Systeme sind Merkur und Venus Planeten, deren Bahnen von der Erdbahn umschlossen werden. Sie sind innere oder untere, alle anderen aber äußere Planeten. Wählen wir von den beiden unteren Planeten zunächst wieder die Venus, um uns ihren scheinbaren Lauf an einer Zeichnung zu veranschaulichen.

Es sei, *Fig. 80*, *S* der Mittelpunkt der Sonne, der innere, kleinere Kreis *abc...g* die Bahn der Venus, der größere, äußerste Kreis *ABC.......M* die Bahn der Erde. Venus durchläuft ihre Bahn in 224 Tagen oder nahe 7, die Erde dagegen die ihrige in 12 Monaten; demnach wird der 7. Theil der Venusbahn mit dem 12. Theil der Erdbahn correspondiren, wie in der Figur dargestellt ist; außerdem ist das ungefähre Verhältnis der Entfernungen von der Sonne von 15 resp. 20 mill. Mln. berücksichtigt worden.

Nehmen wir an, daß sich die Erde in *A*, Venus in *a* befinde, so steht die letztere mit der Sonne in der unteren Conjunction; sie muß der Erde, wie in der Figur zu sehen ist, die dunkle Seite zuwenden und, da sie ihr am nächsten steht, in ihrem größten scheinbaren Durchmesser sich zeigen.

In den ersten 10 Tagen, dem dritten Theil eines Monats, schreitet die Erde bis *m*, Venus bis *m'* vor. Die Bewegung beider Himmelskörper ist nach derselben Seite gerichtet; da aber Venus, weil der Sonne näher, sich schneller als die Erde bewegt, so muß sie mit der Differenz der beiderseitigen Geschwindigkeiten sich nach W. von der Sonne entfernen; zugleich muß sie in Beziehung auf die Fixsterne rückläufig sein, wie aus der Figur erkannt werden kann. Von *A* aus nämlich stand Venus bei Fixsternen, die von der Verlängerung der Linie *AS* getroffen werden. Da aber wegen der unermeßlichen Entfernung der Fixsterne von der Erde selbst die Erdbahn als ein mathematischer Punkt angesehen werden kann, so würde Venus auch von jedem anderen Punkte der Erdbahn, als von *A* aus, so lange bei denselben Sternen gesehen werden, als die von der Erde zu ihr gehende Gesichtslinie mit

Fig. 80.



der Linie AS parallel bliebe. Von m aus erscheint nun Venus in der Richtung von mm'; sie steht also um den Winkel smm' westlich oder rechts von der Sonne und ist somit Morgenstern. Allein sie steht nicht nur westlich von der Sonne, sondern auch westlich von der mit AS parallelen Linie ms; sie ist also von den Fixsternen, bei denen sie von A aus stand, nach W. gerückt, also rückläufig geworden, und zwar, da die Gesichtslinie zu ihrer Bewegung fast rechtwinklig ist, mit der größten Geschwindigkeit.

Ist in den folgenden 10 Tagen die Erde bis n, Venus bis n' gelangt, so ist die westliche Entfernung der letzteren von der Sonne, Winkel $s'nn'$, größer geworden; zugleich ist aber auch die westliche Abweichung der Venus von der mit AS parallelen Linie ns' gewachsen; denn Winkel $s'nn'$ ist größer als smm'. Venus ist also gegen die Fixsterne noch rückläufig geblieben.

Nach Verlauf eines ganzen Monats ist die Erde in B, Venus in b angekommen; die von B aus nach ihr gehende Gesichtslinie Bb macht mit der zur Sonne gehenden Linie BS den Winkel SBb, der wieder größer als Winkel Snn' ist; die westliche Entfernung der Venus von der Sonne hat sich also noch vermehrt, und Venus ist noch länger Morgenstern. Mit der AS parallelen Linie Bs'' macht die zur Venus gehende Gesichtslinie den Winkel $s''Bb$; dieser ist aber kleiner als Winkel $s'nn'$, und Venus muß daher in Beziehung auf die Fixsterne wieder rechtläufig geworden sein. Zwischen n' und b muß sie mithin stationär gewesen sein, und dies wird leicht erklärlich, wenn man auf die Richtung der Bewegung der Venus achtet. Es wendet sich nämlich Venus immer mehr von der Erde ab, bis ihre Bewegung zwischen c und d allmählich ganz die Richtung der zu ihr gehenden Gesichtslinie hat. Es muß also einen Punkt in ihrer Bahn geben, wo der durch ihre schnellere Bewegung bewirkte Ueberschuß der Fortschreitung durch die veränderte Richtung der Bewegung aufgehoben wird, und dies ist der Punkt des scheinbaren Stillstandes. — Uebrigens ist aus der Figur zu erkennen, daß von B aus Venus als schmale, nach links ausgebogene Sichel, aber wegen vermehrter Entfernung von der Erde unter einem kleineren Winkel erscheinen muß.

Zwei Monate nach der unteren Conjunction steht die Erde in C und Venus in c. Letztere ist rechtläufig geblieben; aber weil sie langsamer als die Sonne in der Ekliptik fortschreitet, so wächst dabei ihr westlicher Abstand von der Sonne; denn Winkel $SCc >$ als SBb; Venus ist nahe ihrer westlichsten Ausweichung, und sie erscheint fast als halb erleuchtete Scheibe. Die größte Ausweichung muß Venus zu der Zeit haben, da die zu ihr gehende Gesichtslinie eine Tangente ihrer Bahn ist, was etwa $2\frac{1}{2}$ Monate nach der unteren Conjunction der Fall ist, wenn die Erde zwischen C und D, Venus zwischen c und d sich befindet.

In den folgenden fünf Monaten, während welcher die Erde die Stellungen bei C bis H, Venus die von c bis a einnimmt, wird diese immer rascher rechtläufig, weil die Richtung der Gesichtslinie zu der Bewegung sich einem rechten Winkel nähert; aber ihr westlicher Abstand von der Sonne wird täglich

geringer, wie aus der Vergleichung der entsprechenden Winkel gesehen werden kann. Außerdem nimmt die scheinbare Größe der Venus wegen wachsender Entfernung ab, der sichtbare erleuchtete Theil hingegen an Breite zu.

Wenn die Erde bis *I* gekommen ist, so ist Venus zum zweitenmale in *b*. Sie steht nur noch um einen kleinen Winkel westlich von der Sonne und dürfte, ihrer oberen Conjunction nahe, bereits in den Sonnenstrahlen verschwimmen. Die obere Conjunction muß zwischen *I* und *K* stattfinden; denn von *K* aus wird Venus schon östlich von der Sonne gesehen; sie ist Abendstern geworden und schreitet mit der größten rechtläufigen Bewegung täglich weiter nach O. von der Sonne vor. Die Bewegung der Erde ist nämlich nun ihrer Richtung nach der der Venus entgegengesetzt; diese muß darum mit der Summe der beiderseitigen Bewegungen rechtläufig fortschreiten. Setzt man die Zeichnung in der Figur fort, so wird man finden, daß nach einer gewissen östlichen Entfernung der Venus von der Sonne wieder Stillstand eintritt, worauf die rückläufige Bewegung ihren Anfang nimmt, und der Verlauf sich endlich wiederholt.

In ähnlicher Weise läßt sich der scheinbare Lauf des Merkur darstellen, wenn man den Durchmesser des seine Bahn bezeichnenden Kreises zu dem die Erdbahn darstellenden im Verhältnis von 8 : 20 oder von 2 : 5 zeichnet und annimmt, daß er in etwa drei Monaten seine ganze Bahn durchläuft. Es ist lehrreich, die Darstellung zu versuchen.

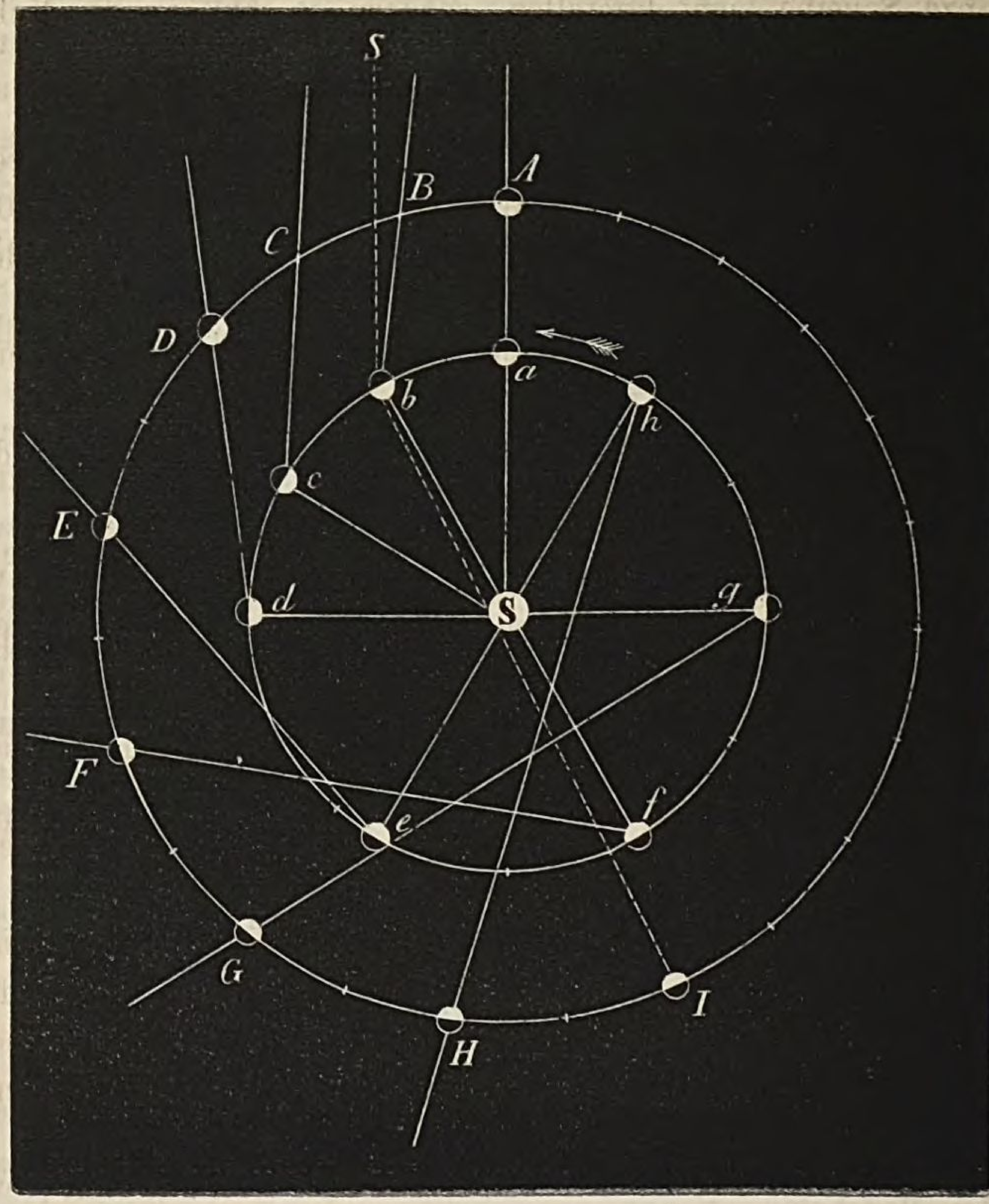
4. **Scheinbarer Lauf der oberen Planeten.** Zur Erläuterung der scheinbaren Bewegung der oberen Planeten wollen wir wieder Mars benutzen, dessen scheinbaren Lauf wir bereits S. 249 beschrieben haben.

Es sei, *Fig. 81*, *S* der Mittelpunkt der Sonne, der innere Kreis *abcd*.... die Erd-, der äußere *ABCD*..... die Marsbahn. Die Erde vollendet ihre Bahn in 12, Mars die seine in 23 Monaten; es entspricht darum $^1/_{12}$ der Erdbahn $^1/_{23}$ der Marsbahn.

Steht die Erde in *a* und Mars in *A*, so erscheint er der Sonne gegenüber oder in Opposition mit ihr. Weil er in dieser Stellung der Erde am nächsten steht, erscheint er unter dem größten Winkel, und da er außerdem der Erde die ganze erleuchtete Seite zuwendet, in seinem größten Glanze am Himmel. Er geht um Mitternacht durch den Meridian.

In einem Monate rückt die Erde bis *b*, Mars bis *B* vor. Die Bewegung beider ist nach derselben Seite gerichtet; da aber die Bewegung der Erde schneller als die des Mars erfolgt, so muß dieser mit der Differenz der beiderseitigen Bewegungen rückläufig sein. Vergleicht man nämlich die zum Mars gehende Gesichtslinie *bB* mit der *aA* parallelen Linie *bs*, so sieht man sie nach rechts, also gegen die Richtung der wahren Bewegung des Mars in seiner Bahn abweichen; er ist also in Beziehung auf die in der Richtung *aA* stehenden Fixsterne um den Winkel *Bbs* nach W. gerückt. Mars erscheint also zur Zeit seiner Opposition rückläufig, und da die zu ihm gerichtete Gesichtslinie fast senkrecht auf der Richtung der Bewegung ist, mit der größten Geschwindigkeit.

Fig. 81.



Nach zwei Monaten erscheint Mars in der Richtung von cC. Diese Linie ist mit bB fast parallel; der Planet ist kurz vor C stationär gewesen, indem die veränderte Richtung der Erdbewegung — sie ist dem Mars abgewendet — ihre größere Geschwindigkeit unmerklich macht. Während des zweiten Monats ist die Annäherung des Planeten an die Sonne, oder vielmehr umgekehrt die Annäherung dieser an jenen, noch bedeutender geworden; denn Winkel CcS ist kleiner als BbS. — Ist die Erde nach drei Monaten bis d, Mars bis D gekommen, so ist letzterer entschiedener rechtläufig geworden, wie durch Vergleichung der Linie cC und dD erkannt werden kann. Da in d die Bewegung der Erde in der Richtung der Gesichtslinie Dd geschieht, so ist für die scheinbare Bewegung des Planeten seine wahre Bewegung allein maßgebend. Diese ist aber langsamer als die scheinbare der Sonne; es muß sich darum der Abstand des Mars von der Sonne noch mehr vermindern. Dieser Abstand, Winkel DdS, beträgt etwa einen rechten Winkel oder 90°, und man sagt nun, Mars stehe in Quadratur mit der Sonne. Hier muß die scheinbare Größe des Planeten wegen größerer Entfernung von der Erde schon merklich abgenommen

haben; zugleich kann er, wie auch im Fernrohr gesehen werden kann, nicht mehr als ganze Scheibe sich darstellen, sondern es muß an der linken Seite derselben etwas fehlen.

Während der folgenden zwei Monate bewegt sich Mars nach *E*, die Erde nach *e*. Der Planet ist mit größerer Geschwindigkeit rechtläufig geblieben; aber seine Entfernung von der Sonne, Winkel *EeS*, ist kleiner als 90°. Diese Annäherung an die Sonne wird in den folgenden Monaten immer bedeutender, wie aus der Vergleichung der betreffenden Winkel erkannt werden kann; 11 Monate nach der Opposition des Mars ist sie nur noch gleich dem spitzen Winkel *HhS*. Der in der Richtung *hH* stehende Planet hat in Beziehung auf die Fixsterne noch keinen halben Umlauf vollendet; denn er steht den in der Richtung *aA* stehenden Fixsternen noch nicht gegenüber.

Wenn 13 Monate nach der Opposition die Erde zum zweitenmale nach *b*, Mars aber nach *I* gekommen ist, so erscheint dieser nicht mehr, wie bisher, links, sondern um den Winkel *IbS* rechts von der Sonne. Der Planet ist, wenn anders man so sagen will, Morgenstern geworden und hat nun bereits mehr als einen halben Umlauf gegen die Fixsterne vollendet, da er die in der Richtung *Aa* liegenden Sterne bereits passirt hat. Zwischen dem 12. und 13. Monat muß Mars nach der Zeichnung in Conjunction mit der Sonne gewesen sein, und zu dieser Zeit muß einmal der Planet wegen der größten Entfernung von der Erde seinen kleinsten scheinbaren Durchmesser zeigen, zugleich aber mit der größten Geschwindigkeit rechtläufig fortschreiten, da Erde und Planet sich nach entgegengesetzten Richtungen bewegen, und darum die scheinbare Bewegung des Planeten die Summe der beiderseitigen Bewegungen ist.

Setzt man die Zeichnung fort, so wird man den Planeten mit abnehmender Geschwindigkeit sich ferner rechtläufig bewegen, dabei immer weiter sich von der Sonne nach W. entfernen, kurz vor der abermaligen Opposition stationär, darauf aber rückläufig werden, und endlich den Verlauf der Bewegung in der beschriebenen Weise sich erneuern sehen.

In ähnlicher Weise läßt sich der scheinbare Lauf der übrigen oberen Planeten erklären, wenn man die ihre Bahnen darstellenden Kreise im Verhältnis ihrer Entfernungen von der Sonne construirt und den Umlaufszeiten gemäß theilt. So finden die scheinbar so verwickelten Bewegungen der Planeten, namentlich die zweite Ungleichheit derselben, durch das Copernikanische System in einfacher und durchaus befriedigender Weise ihre Erklärung, ohne zu ganzen Systemen von Epicykeln seine Zuflucht nehmen zu müssen. Die zweite Ungleichheit der Planeten hat also ihre Ursache einfach in dem Umstande, daß wir die Bewegung der Planeten nicht von einem festen, sondern von einem beweglichen Standpunkte aus betrachten.

Was die eigenthümlichen, in *Fig. 73* und *74* dargestellten Verschlingungen der Bahnen betrifft, so erklären sie sich leicht aus dem Umstande, daß die Bahnen der betreffenden Planeten gegen die Ebene der Erdbahn geneigt

sind. Fehlte diese Neigung, so würden die Planeten beständig in der Ekliptik, aber bald recht-, bald rückläufig mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit einhergehen. Schleifen, wie sie wegen vorhandener Neigung entstehen, würden sich dann nicht bilden können.

5. **Das Tychonische System.** Es ist begreiflich, daß es längere Zeit währte, ehe man sich in die von *Copernikus* geforderte neue Betrachtungsweise der Himmelserscheinungen, nach welcher namentlich die Bewegungen der Planeten auf die ruhende Sonne bezogen werden sollten, hineinlebte, da man Jahrtausende lang sich gewöhnt hatte, die Erde als den ruhenden Mittelpunkt der Welt anzusehen. Auch der 1546 d. 4. Decbr. geborene berühmte dänische Astronom *Tycho de Brahe*, der auf der Uranienburg auf der Insel Hveen bei Kopenhagen seit 1580 seine für die damalige Zeit ausgezeichneten astronomischen Beobachtungen machte, folgte nur theilweise dem *Copernikus*. Er nahm, um die erste und die zweite Ungleichheit in der Bewegung der damals bekannten 5 Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn zu erklären, mit *Copernikus* die Sonne als den Mittelpunkt der Bahnen dieser fünf Weltkörper an, setzte aber die Erde außerhalb der Merkurs- und Venusbahn und ließ um die Erde als ruhenden Mittelpunkt sich erst den Mond und dann die Sonne mit den genannten 5 Planeten bewegen. Diese Anordnung der Planeten wird wohl das Tychonische System genannt, das zwar als eine Verbesserung des ägyptischen Systems angesehen werden kann, da es die beiden Ungleichheiten besser zu erklären vermochte; allein eine genauere Vergleichung guter Beobachtungen mit den aus der Anordnung des Systems folgenden Consequenzen läßt dasselbe als fehlerhaft erkennen. Hat aber auch *Tycho de Brahe* durch sein System die Astronomie nicht gefördert, so hat er doch durch Ansammlung vieler äußerst werthvoller und genauer Beobachtungen seinem Zeitgenossen *Kepler* die Möglichkeit verschafft, seine wichtigen Entdeckungen zu machen und manche Mängel des Copernikanischen Systems zu verbessern. Zur Wahrheit steigt man eben nur allmählich empor.

6. **Unvollkommenheit des Copernikanischen Systems.** *Copernikus* nahm z. B., wie die Alten, die Bahnen der Planeten als Kreise an, erklärte die erste Ungleichheit durch den excentrischen Kreis und nahm, wo dieser nicht ausreichte, selbst zu den Epicykeln seine Zuflucht. Wir haben bereits gesehen, wie ungeeignet der excentrische Kreis zur Erklärung der ersten Ungleichheit ist, weil sich unter seiner Annahme die scheinbaren Durchmesser der Planeten in bestimmten Punkten dieser Kreise, auch bei Sonne und Mond, wie die in diesen Punkten beobachteten scheinbaren Bewegungen verhalten müßten, was doch nicht der Fall ist, indem nach S. 254 diese Bewegungen sich wie die Quadrate der entsprechenden scheinbaren Durchmesser verhalten. Excentrische Kreise können die Bahnen der Planeten also nicht sein. Welche Gestalt aber haben sie wirklich?

Eine in jeder Beziehung befriedigende Antwort auf diese Frage, sowie anderweitige wichtige Aufschlüsse über die im Planetensysteme herrschende

Gesetzmäßigkeit zu geben, sollte einem Deutschen, *Johann Kepler*, gelingen. Gestützt auf die vortrefflichen Beobachtungen *Tychos*, gelangte er durch den beharrlichsten Fleiß und bewundernswerthe Geduld zu Resultaten, die seinem Namen ebenfalls die Unsterblichkeit sichern werden. Er kam auf den glücklichen Gedanken, das Copernikanische System mit den genannten Beobachtungen *Tychos*, und somit mit dem Himmel selbst zu vergleichen. Ehe wir aber kurz den Gang seiner Bemühungen andeuten, wollen wir zuvor noch einige Bemerkungen über seine persönlichen Verhältnisse mittheilen, mit diesen aber, da sie dem Reformator des Copernikanischen Systems gelten, der einen neuen, wesentlichen Fortschritt in der Astronomie begründete, ein neues Kapitel beginnen.

Viertes Kapitel.

Kepler und seine Gesetze.

1. **Johann Kepler**, der Sohn eines armen Gastwirths, wurde im Jahre 1571 den 27. December in dem Dorfe Magstall bei Weil in Würtemberg geboren. Wegen Mittellosigkeit der Eltern mußte er nach empfangenem dürftigen Schulunterricht daran denken, sich selbst die Mittel zu verschaffen, um in Tübingen Theologie studiren zu können. Durch Erziehung und Unterricht von Kindern, sowie durch Herausgabe von Kalendern erwarb er sich später kümmerlich seinen Unterhalt, und fast während seines ganzen Lebens hat dieser hochverdiente Mann sich in den dürftigsten Verhältnissen befunden. Es kommt dabei freilich viel auf die unglücklichen Zeitverhältnisse, indem *Kepler* die Wehen des 30jährigen Krieges bitter empfinden mußte. — Erst 22 Jahr alt, ward er Professor der Mathematik zu Grätz, wo er 1596 sein »*Mysterium cosmographicum*« herausgab, in welchem er sich mit Scharfsinn über die Vorzüge des Copernikanischen Systems verbreitet, aber auch Beweise seiner lebhaften, dem Verstande oft voraneilenden Phantasie giebt. Durch diese Schrift wurde er *Tycho* bekannt, den er sehr verehrte, und mit dem er seitdem in Briefwechsel stand. Als *Tycho* später bei seinem Hofe in Misgunst fiel und 1599 vom Kaiser *Rudolf* nach Prag berufen wurde, ging auch *Kepler* dahin, wo er auf *Tychos* Verwendung die Stelle eines kaiserlichen Mathematikers erhielt und *Tycho* in der Berechnung verbesserter astronomischen Tafeln unterstützte. Nach dem schon 1601 erfolgten Tode *Tychos* trat *Kepler* in dessen Stelle, in welcher er bis zum Jahre 1613 verblieb. Schon unter *Rudolf* war ihm sein Gehalt unregelmäßig oder gar nicht gezahlt worden, und da *Rudolfs* Nachfolger, *Matthias*, noch schlechter zahlte, so ging er als Lehrer an das evangelische Gymnasium zu Linz, wo er 15 Jahr lang ebenfalls unter drückenden Verhältnissen lebte. Um sich zu verbessern, ging er kurze Zeit nach Ulm und trat dann in *Wallensteins* Dienste, dessen Erwartungen er aber nicht entsprach,

indem dieser in ihm zwar einen tüchtigen Astronomen, aber nicht den gesuchten Astrologen fand. Es ward ihm deshalb eine Professur in Rostock übertragen, wo ihm aber, aller Bemühungen ungeachtet, sein Gehalt ebenfalls nicht ausgezahlt wurde, indem der Krieg alle Mittel verschlang. Als der Reichstag zu Regensburg zusammentrat, um die Angelegenheiten Deutschlands zu ordnen, reisete *Kepler* nach dieser Stadt, um hier die rückständige Pension zu erflehen. Allein fünf Tage nach seiner Ankunft, am 15. November 1631, sollte der Tod seinem sorgenvollen Leben ein Ende machen. Nach andern soll er diese Reise nach Regensburg nicht gemacht haben, sondern einige Jahre vor seinem Tode ihm die rückständige 20jährige Besoldung auf einmal ausgezahlt worden sein. Allein es war zu spät; denn, an Körper geschwächt, konnte er sich derselben nicht mehr recht erfreuen. So traurig gestaltete sich das Leben eines Mannes, der als der Vater der neuen Astronomie angesehen werden muß, und dessen Namen die dankbarere Nachwelt ewig rühmend nennen wird. Mit Recht konnte *Kästner* von ihm sagen:

So hoch war noch kein Sterblicher gestiegen,
Als *Kepler* stieg, und starb den Hungertod!
Er wußte nur die Geister zu vergnügen;
Drum ließen ihn die Körper ohne Brot.

2. **Wie Kepler zu seinen Gesetzen kam.** Wie schon angedeutet, verglich *Kepler* die aus dem Copernikanischen System sich ergebenden Folgerungen mit den vortrefflichen Beobachtungen *Tychos*, die ihm zur Benutzung offenlagen, und er fand bald eine nicht unbeträchtliche Abweichung zwischen beiden. Namentlich waren es die sehr ungleichmäßigen Bewegungen des Planeten Mars, die er mit dem unermüdlichsten Eifer verfolgte. Die Bewegungen dieses Planeten waren durchaus nicht mit der Annahme des excentrischen Kreises in Einklang zu bringen. Er ward daher mistrauisch gegen diese Kreise; um aber die wahre Form der Bahn zu ergründen, suchte er nach etwas Constantem, nach einem Gesetz in der scheinbaren Unregelmäßigkeit, und unterwarf zu dem Ende die ihm überlieferten Zahlen der Beobachtungen *Tychos* den mannigfaltigsten Operationen. Alle seine Versuche hat er in seinem 1609 zu Prag erschienenen Werke, betitelt: »*Astronomia nova de motibus stellae Martis*«, bekannt gemacht, und man kann so die unsägliche Geduld und Beharrlichkeit ermessen, mit der er das vorgesteckte Ziel zu erreichen bestrebt war. Manche dieser Rechnungen nehmen zehn ganze Folioseiten ein, und das Durchlesen derselben schon erfordert eine seltene Geduld, wie viel mehr die Rechnung selbst. In dieser Beziehung sagt *Kepler* an einer Stelle des angeführten Werkes: »Wem das Durchlesen dieser mühevollen Rechnungen Langeweile macht, der mag immerhin Mitleid mit mir haben, der ich sie wenigstens 70mal wiederholen mußte, während er sie nur einmal lesen darf.« Seine Bemühungen sollten aber nicht vergebens sein; denn nach acht Jahren wurden sie mit dem herrlichsten Erfolge gekrönt.

Alle Versuche *Keplers*, zu einem gewünschten Ziele zu gelangen, hier anzuführen, kann nicht unser Zweck sein; es muß uns genügen, die Möglichkeit zu zeigen, wie er zu seinen Resultaten gelangen konnte.

Daß die erste Ungleichheit der Planeten, deren Erklärung *Copernikus* in seinem Werke nicht versucht hat, nicht durch den excentrischen Kreis bedingt sein kann, haben wir bereits S. 254 angedeutet; denn es hätten sich ja sonst die scheinbaren Geschwindigkeiten der Planeten gerade wie die entsprechenden scheinbaren Durchmesser verhalten müssen, während sie sich doch in Wahrheit wie die Quadrate dieser Durchmesser verhalten, wie wir an dem Beispiele des Mondes näher nachgewiesen haben. Und zu demselben Resultate gelangt man auch bei der Sonne und den Planeten. So ist die kleinste tägliche Bewegung der Sonne in Länge, wenn sie zu Anfang des Juli im Perihel steht, $= 0^{0},95319$ und der dann an ihr beobachtete scheinbare Durchmesser $= 0^{0},52527$, die größte tägliche Bewegung der Sonne im Anfange des Januar aber $= 1^{0},01943$ und der damit verbundene scheinbare Durchmesser derselben $= 0^{0},54321$. Es verhält sich mithin das Minimum zum Maximum der täglichen Bewegung, wie 0,95319 : 1,01943 oder, auf die Einheit reducirt, wie 1 : 1,0695. Die entsprechenden scheinbaren Durchmesser aber verhalten sich wie 0,52527 : 0,54321, oder wie 1 : 1,0341, und dies Verhältnis ist dem der Bewegungen nicht gleich, wie es bei der Annahme des excentrischen Kreises doch sein müßte. Quadrirt man aber das letztere Verhältnis, so erhält man 1 : 1,06936, also ein Verhältnis, das dem der entsprechenden täglichen Geschwindigkeiten fast gleich ist.

Nun verhalten sich aber die scheinbaren Durchmesser umgekehrt wie die Entfernungen, d. h. in 2, 3, 4 . . . facher Entfernung sind dieselben nur $^1/_2$ resp. $^1/_3$, $^1/_4$. . ., und umgekehrt. Wenn sich daher nach dem Obigen die scheinbaren Bewegungen oder die Geschwindigkeiten wie die Quadrate der scheinbaren Durchmesser verhalten, so müssen sie sich auch umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Hieraus aber folgt, daß die Produkte, welche man erhält, wenn man die Zahlen für die Geschwindigkeit mit der Quadratzahl der entsprechenden Entfernung multiplicirt, einander gleich sein müssen. Machen wir den Versuch mit der Sonne! Die kleinste Entfernung derselben von der Erde beträgt 20,334 mill., die größte 21,030 mill. Mln. Die Quadrate dieser Zahlen sind 413,4715 resp. 442,2609. Multiplicirt man mit diesen Zahlen die der kleinsten und der größten Entfernung entsprechenden Verhältniszahlen des scheinbaren Durchmessers 1,0695 resp. 1, so erhält man 442,2108 und 442,2609, also zwei Zahlen, die fast gleich sind; sie würden es ganz sein, wenn die Entfernungen noch genauer angenommen worden wären.

3. **Das erste Keplersche Gesetz.** Dieses eigenthümliche Verhältnis zwischen den Geschwindigkeiten der Planeten und ihren Entfernungen von der Sonne besteht nun aber nicht nur bei der Sonne und dem Monde, auch nicht nur in der kleinsten und größten Entfernung, sondern es gilt, wie *Kepler* ge-

zeigt hat, auch für Mars und für alle Planeten, auch in allen Entfernungen von der Sonne. Dies gefunden und nachgewiesen zu haben, ist eben das Verdienst *Keplers*, das Resultat acht Jahre langer Bemühungen und Versuche. Es war für alle Planeten etwas Constantes und zugleich allen Gemeinsames gefunden, und der Ausspruch desselben ist unter dem Namen des (historisch) ersten *Kepler*schen Gesetzes bekannt. Dieses Gesetz heißt also, um es noch einmal zu wiederholen: Die Geschwindigkeit eines Planeten in irgend einem Punkte seiner Bahn, multiplicirt mit der Quadratzahl der entsprechenden Entfernung von der Sonne, giebt stets dasselbe Produkt oder ist für jeden Planeten eine Constante.

Diesem Satze kann man auch eine andere, schon angedeutete Form geben: Die Geschwindigkeiten der Planeten in den verschiedenen Punkten ihrer Bahnen verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernung von der Sonne in diesen Punkten. Hiernach müssen also die Geschwindigkeiten der Planeten mit wachsender Entfernung von der Sonne ab-, mit sich vermindernder Entfernung zunehmen; sie müssen am kleinsten in der Sonnenferne, am größten in der Sonnennähe sein.

4. **Das zweite Keplersche Gesetz.** Nach der Entdeckung des obigen ersten Gesetzes entstand nun die Frage, welches die Form der Bahn sei, die jenem Gesetze entspreche. Da der excentrische Kreis es nicht sein konnte, so kam *Kepler* auf die Ellipse; denn wenn die Sonne in dem einen Brennpunkte der elliptischen Bahn eines Planeten stände, so müßte sich ja beständig die Entfernung des Planeten von der Sonne und damit nach jenem ersten Gesetze auch die Geschwindigkeit desselben ändern. Allein Vermuthungen konnten zwar auf die rechte Bahn führen, durften aber nichts entscheiden. *Kepler* hätte leicht zur Gewißheit über die Form der Planetenbahnen gelangen können, wenn ihm außer einer genügenden Anzahl von beobachteten Längen und damit der Geschwindigkeiten der Planeten zugleich die entsprechenden Entfernungen von der Sonne bekannt gewesen wären; denn alsdann hätte er nur nöthig gehabt, von einem die Sonne bedeutenden Punkte in irgend einem Maßstabe gerade Linien im Verhältnis der Entfernungen und unter den durch die Längenangaben bestimmten Winkeln zu ziehen, und die Endpunkte dieser Linien durch eine Curve zu verbinden, um die Form der Planetenbahn graphisch darzustellen.

Nun befand er sich zwar in dem Besitze von Längenbestimmungen, namentlich auch für die Sonne, die *Tycho* für alle Tage des Jahres sorgfältig beobachtet hatte; allein über die Distanzen standen ihm keine zuverlässigen Angaben zu gebote. Dieser bedurfte es indessen auch gar nicht; denn die Form der Bahn mußte sich ja auch darstellen lassen, wenn nur das Verhältnis der Entfernungen bekannt war, und nach vielen vergeblichen Versuchen erkannte *Kepler*, daß hierzu sein erstes Gesetz die Mittel biete. Nach diesem Gesetze ist nämlich die für jeden einzelnen Planeten geltende Constante das Produkt der täglichen Geschwindigkeit des Planeten und der Quadrate der ent-

sprechenden Entfernung von der Sonne. War also z. B. für die Sonne ein solches Produkt für irgend einen Tag bekannt, so mußte, wenn dieses durch die bekannte Geschwindigkeit der Sonne an diesem Tage dividirt ward, der Quotient das Quadrat der entsprechenden Entfernung bezeichnen, und wenn man dieses Quadrat in zwei gleiche Faktoren zerlegte oder die Quadratwurzel desselben suchte, die einfache Entfernung selbst gefunden werden. Indem nun diese Operation in genügender Anzahl wiederholt wurde, mußte eine genügende Anzahl von Entfernungen gefunden und durch Zeichnung derselben in oben angegebener Weise die Form der Bahn gefunden werden können. Selbst wenn die zuerst in Rechnung gezogene Entfernung eine unrichtige war, konnte dies auf das Verhältnis der Entfernung von keinem Einfluß sein; ja man konnte jene Constante als 1 annehmen und hatte nur nöthig, diese durch die Quadratwurzel der beobachteten Geschwindigkeiten zu dividiren, um das Verhältnis der entsprechenden Entfernungen zu finden.

Auf diese Weise fand *Kepler*, daß die Bahn der Erde eine Ellipse sei, in deren einem Brennpunkte die Sonne stehe. Er vermuthete, daß dasselbe auch bei allen andern Planeten der Fall sei, und die in dieser Beziehung angestellten Rechnungen überzeugten ihn von der Richtigkeit seiner Vermuthung. Er sprach die gefundene neue Wahrheit in einem zweiten Gesetze aus: Die Bahnen aller Planeten sind Ellipsen, in deren einem gemeinschaftlichen Brennpunkte die Sonne steht.

Dieses Gesetz pflegt, obwohl es von *Kepler* später gefunden wurde, gewöhnlich das erste, jenes andere von ihm zuerst entdeckte das zweite *Kepler*sche Gesetz genannt zu werden, weil es in der elliptischen Form der Bahn begründet ist. Auch pflegt man das letztere gewöhnlich in einer anderen Form, mit engerer Beziehung zur Ellipse auszusprechen, welche Form wir in dem Folgenden kurz entwickeln wollen. Wir wollen es dabei, wie es üblich ist, das zweite Gesetz nennen.

5. **Andere Form des zweiten Keplerschen Gesetzes.** Es sei, *Fig. 82*, $ABPC$ die elliptische Bahn eines Planeten, in deren einem Brennpunkte die Sonne S stehe. Die Linie AP sei die große Achse oder die Apsidenlinie, A das Aphelium, P das Perihelium der Bahn.

Angenommen, der Bogen Aa sei ein von dem Planeten in einem sehr kleinen Zeittheil, vielleicht in einer Sekunde oder selbst einem kleinen Theil derselben durchlaufener Theil seiner Bahn, so wird derselbe von dem mit der Linie SA als Radius eines Kreises beschriebenen Bogen nur sehr wenig verschieden sein, so daß er als mit ihm zusammenfallend angesehen werden kann. Unter dieser Annahme wird aber auch der *Radius vector* Sa als mit SA von gleicher Länge, und zugleich beide als auf Aa senkrecht stehend betrachtet werden können. Der Bogen Aa, welcher durch Bewegung des Radius SA, den wir kurz r nennen wollen, um den Winkel ASa, der w heißen mag, entstanden ist, ist das Produkt des Radius r und des Winkels w, also $= r . w$. Er ist die Grundlinie des Dreiecks ASa, und da man den Flächeninhalt eines

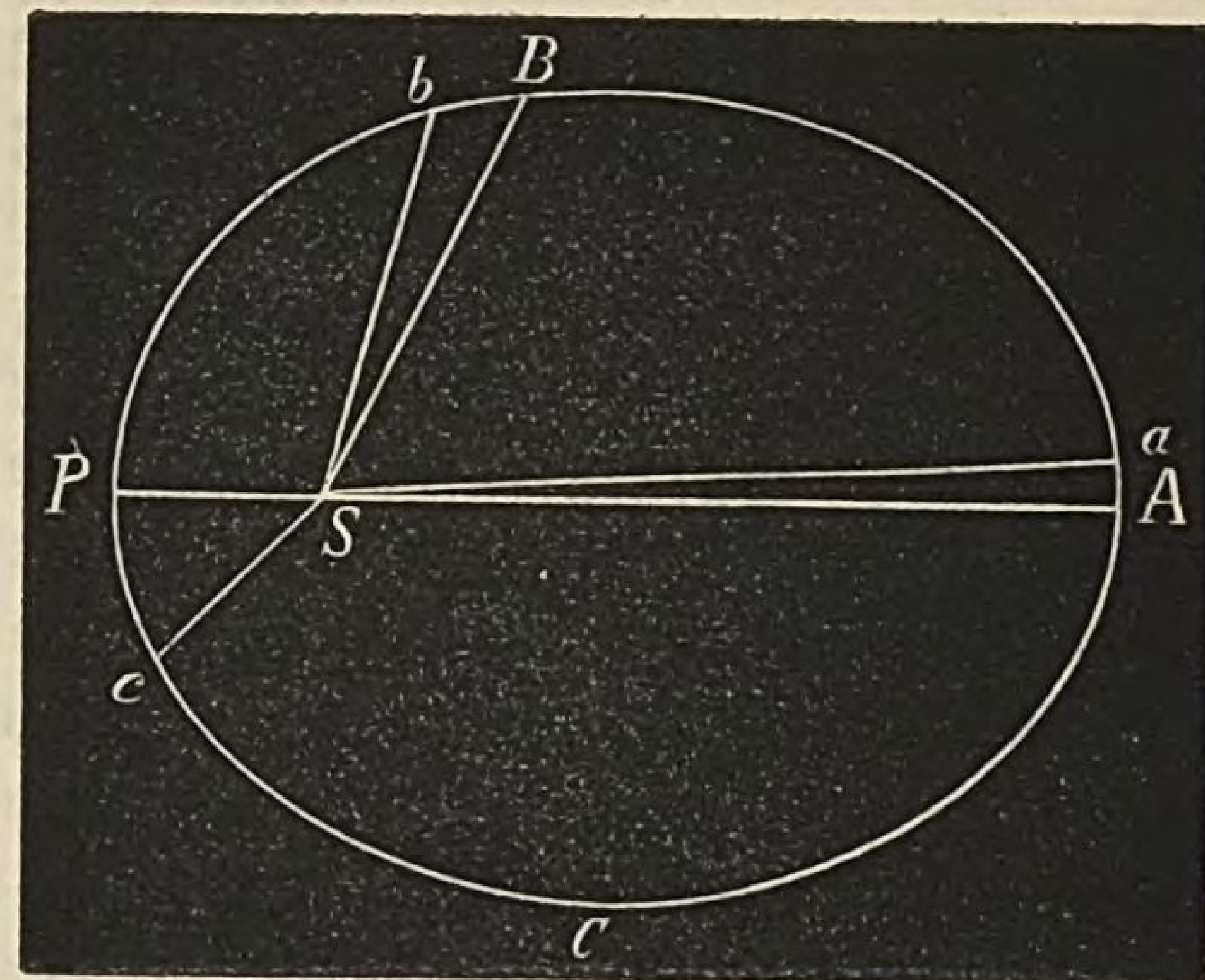


Fig. 82.

Dreiecks findet, indem man die Grundlinie mit der halben Höhe multiplicirt, so ist der Flächeninhalt des genannten Dreiecks ASa, dessen Höhe r ist, $= r \cdot w \cdot r/2 = {}^1/_2 r^2 w$. Die Fläche dieses Dreiecks kann als der Weg des *Radius vector* SA angesehen werden. Da aber nach dem zweiten *Kepler*schen Gesetze das Produkt der Geschwindigkeit eines Planeten (Winkel w) mit dem Quadrate der entsprechenden Entfernung von der Sonne (r^2) für diesen Planeten eine constante Größe ist, so müssen auch alle von dem *Radius vector* in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume (Flächen) eine gleiche Größe haben, und darum läßt sich das zweite Gesetz mit Beziehung auf die Ellipse auch so aussprechen: Die von dem *Radius vector* in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume sind einander gleich.

In dieser Form ist das Gesetz, welches die Art der Bewegung der Planeten in ihrer Bahn bestimmt, von *Kepler* bekannt gemacht worden. Sind also auch nicht die in gleichen Zeiten durchlaufenen Bogen gleich, so sind es doch die Flächen. So sind, falls die Bogen Aa, Bb, Pc, *Fig. 82,* in gleicher Zeit durchlaufen sind, die drei Dreiecke ASa, BSb, PSc von gleicher Größe. Nimmt die Grundlinie derselben vom Perihel bis zum Aphel an Größe zu, so nimmt die Höhe der Dreiecke ab, und umgekehrt.

Als eine einfache Folgerung aus dem obigen zweiten *Kepler*schen Gesetze ergiebt sich noch der für die Bestimmung des Planetenorts in der Bahn für irgend eine Zeit wichtige Satz: Die von dem *Radius vector* in beliebigen Zeiten durchlaufenen Flächen sind den darauf verwandten Zeiten proportional, ein Satz, über dessen Anwendung weiter unten noch einmal die Rede sein wird.

6. **Das dritte Keplersche Gesetz.** Der Umstand, daß die Planeten sich um so langsamer bewegten, je ferner sie der Sonne standen, brachte *Kepler* auf die Vermuthung, daß zwischen den Entfernungen aller Planeten von der Sonne und ihren Geschwindigkeiten, und da diese die siderischen Umlaufszeiten bedingen, auch zwischen jenen Entfernungen und diesen Umlaufszeiten ein bestimmtes Verhältnis bestehen werde. Indem er nach einem Ausdruck für diese vermuthete Beziehung suchte, unterwarf er die ihm durch die Beobachtungen *Tychos* überlieferten Zahlenwerthe den mannigfaltigsten Operationen, und endlich, nach 17jährigem, unermüdlichem Streben, am 15. Mai 1618, war er so glücklich, durch eine neue, schöne Entdeckung sich belohnt zu sehen. Er hatte ein drittes Gesetz gefunden, worüber er in dem 1619 zu

Linz herausgekommenen Werke: »*Harmonice mundi*« Näheres mittheilt. Er fand nämlich, daß die Produkte, die man erhält, wenn man einerseits die Quadratzahl der siderischen Umlaufszeit eines Planeten mit der Kubikzahl der mittleren Entfernung eines anderen Planeten von der Sonne, andererseits die Kubikzahl der mittleren Entfernung des ersten Planeten mit der Quadratzahl der siderischen Umlaufszeit des zweiten Planeten multiplicirt, einander gleich seien.*)

Während durch das zweite *Kepler*sche Gesetz eigentlich nur die Bewegung jedes einzelnen Planeten in seiner Bahn bestimmt wird, stellt dieses dritte Gesetz etwas allen Planeten Gemeinsames auf. Es zeigt, daß alle Planeten durch ein gemeinsames Band umschlungen sind. Gewöhnlich aber pflegt man das dritte Gesetz in eine andere sich unmittelbar aus dem Obigen ergebende Form zu kleiden, in der es sich leichter praktisch anwenden läßt; es lautet: Die Quadratzahlen der siderischen Umlaufszeiten je zweier Planeten verhalten sich zu einander wie die Kubikzahlen der mittleren Entfernung dieser Planeten von der Sonne.

7. **Anwendung dieses Gesetzes.** Mit Hilfe dieses wichtigen Gesetzes lassen sich manche interessante Fragen beantworten. Wenn nämlich von irgend einem Planeten die siderische Umlaufszeit und die mittlere Entfernung von der Sonne bekannt sind, von einem anderen Planeten aber eines dieser Stücke gegeben ist, so läßt sich das andere durch eine sehr einfache Rechnung finden.

Erstes Beispiel. Setzen wir die Umlaufszeit der Erde zu 365 Tagen, die mittlere Entfernung derselben zu c. 21 mill. Mln. als bekannt voraus, und man wollte nun wissen, wie groß die mittlere Entfernung des in 88 Tagen um die Sonne kreisenden Merkur sei, so hätte man nach dem dritten *Kepler*schen Gesetze die einfache Proportion:

$$365^2 : 88^2 = 21^3 : x^3, \text{ was ausgeführt}$$
$$133225 : 7744 = 9261 : x^3 \text{ giebt.}$$

Sucht man nun x^3, indem man das Produkt der inneren Glieder durch das erste Glied dividirt, so erhält man

$$x^3 = \frac{71717184}{133225} = 538{,}316.$$

Diese Zahl ist also die Kubikzahl der mittleren Entfernung Merkurs von der Sonne; zieht man aus derselben die Kubikwurzel, so findet man dieselbe gleich 8,1; die mittlere Entfernung Merkurs beträgt somit 8,1 mill. Mln.

Zweites Beispiel. Wäre Jupiters mittlere Entfernung von der Sonne zu 108 mill. Mln. bekannt, und suchte man seine Umlaufszeit in Jahren, so

*) Unter der siderischen Umlaufszeit eines Planeten versteht man nämlich die Zeit, in welcher der Planet, von der Sonne aus gesehen, genau 360° zurücklegt oder wieder zu denselben Fixsternen zurückkehrt. Unter der mittleren Entfernung des Planeten aber versteht man bekanntlich die halbe große Achse seiner Bahn.

hätte man, die Kenntnis der entsprechenden beiden Größen bei der Erde vorausgesetzt, die Proportion:

$$1^2 : x^2 = 21^3 : 108^3 =$$
$$1 : x^2 = 9261 : 1259712.$$

Dividirt man nun das Produkt der äußeren Glieder mit dem bekannten inneren Gliede, so erhält man:

$$\frac{1259712}{9261} = 136.$$

Dies ist die Quadratzahl der Umlaufszeit in Jahren, mithin die Umlaufszeit selbst die Quadratwurzel von 136 = 11,6. Die siderische Umlaufszeit Jupiters ist mithin gleich 11,6 Jahren.

Diese beiden Beispiele werden genügen, die Anwendung des dritten *Kepler*schen Gesetzes zu veranschaulichen und zu zeigen, wie man bei der Auflösung ähnlicher Aufgaben zu verfahren hat. Die gefundenen Resultate werden um so genauer sein, je genauer die in Rechnung gebrachten Zahlenwerthe sind. Würde jetzt ein neuer Planet aufgefunden, und es wäre seine mittlere Entfernung von der Sonne berechnet worden, so wäre man nach dem dritten Gesetze im stande, schon im voraus seine Umlaufszeit zu bestimmen, ohne einen vollen Umlauf des Planeten abwarten zu müssen.

8. **Zusammenfassung.** Der Uebersichtlichkeit wegen wollen wir die drei wichtigen *Kepler*schen Gesetze noch einmal zusammenstellen und einige allgemeine Bemerkungen daran knüpfen.

> **Erstes Gesetz.** Die Bahnen aller Planeten sind Ellipsen, in deren einem gemeinschaftlichen Brennpunkte die Sonne steht.
>
> **Zweites Gesetz.** Der *Radius vector* beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächen.
>
> **Drittes Gesetz.** Die Quadratzahlen der siderischen Umlaufszeiten je zweier Planeten verhalten sich wie die Kubikzahlen der mittleren Entfernung dieser Planeten von der Sonne.

Durch das erste Gesetz wird die Form der Planetenbahnen bestimmt. Es hat indessen nicht nur Giltigkeit für die Planeten, sondern auch die Kometen mit berechneten Bahnen und Umlaufszeiten bewegen sich in Ellipsen um die Sonne; ja selbst Fixsterne gehen in solchen Bahnen einher.

Das zweite Gesetz bestimmt die Art der Bewegung jedes einzelnen Planeten in seiner elliptischen Bahn. Nach ihm schreitet jeder Planet von seiner Sonnennähe zu seiner Sonnenferne mit verzögerter, von der Sonnenferne zur Sonnennähe mit beschleunigter Geschwindigkeit fort. Das Maximum der Geschwindigkeit findet in dem Punkte der Sonnennähe oder im Perihel, das Minimum derselben in dem Punkte der Sonnenferne oder im Aphel statt. Zugleich erklärt das zweite Gesetz vollständig die erste Ungleichheit der Planeten, deren Erklärung *Copernikus* nicht versucht hat, und die nach seinem

Systeme nicht erklärbar war. Es zeigt nämlich dies Gesetz, daß die ungleichmäßige Bewegung der Planeten nicht bloß scheinbar, sondern wirklich sei, daß aber die bestehende Ungleichmäßigkeit durch die veränderliche Entfernung der Planeten von der Sonne noch vergrößert werde. Die schnellere Bewegung in der Nähe des Perihels erscheint wegen geringerer Entfernung zugleich unter einem größeren Winkel, während die langsamere Bewegung in der Nähe des Aphels wegen der größeren Entfernung noch mehr verlangsamt erscheint. Die erste Ungleichheit der Planeten ist also theils eine wirkliche, theils eine scheinbare. Endlich folgt aus dem in Rede stehenden Gesetze, daß die bewegende Kraft in dem Brennpunkte der elliptischen Planetenbahnen, also in der Sonne sich befinde, was *Kepler* auch bereits ahnte.

Das dritte Gesetz endlich umfaßt alle Planeten; es zeigt, daß alle ein gemeinsames Band verbindet, und es weiset am deutlichsten auf eine einzige, die Bewegung aller Planeten regelnde Kraft hin. *Kepler* ahnte diese Kraft in der Sonne; er hätte aber bei näherer Entwicklung seiner Gesetze zur Gewißheit darüber kommen und über die Art der Wirkung dieser Kraft Genaueres erforschen können. Allein seine zu lebhafte Phantasie und vorgefaßte Meinungen führten ihn immer weiter von dem Gebiete der Thatsachen ab, und ließen ihn sich in leere Träumereien verlieren. Auch mögen die drückendsten Sorgen, mit denen er fast sein ganzes Leben hindurch zu kämpfen hatte, seinen Sinn getrübt und ihn verhindert haben, die Palme des höchsten Ruhmes zu erlangen. Diese Palme war einem anderen großen Geiste, *Isaak Newton*, beschieden. Seinem Genius gelang es, von den Gesetzen der Bewegung, die *Kepler* so mühsam gefunden, zu der Ursache, deren Wirkung jene Gesetze aussprechen, hindurchzudringen. Ihm war es vergönnt, in der allgemeinen Schwere oder Gravitation diejenige Kraft zu entdecken, die nicht nur das Planetensystem, sondern auch die fernsten Sternsysteme, ja den ganzen herrlichen Bau des Himmels zusammenhält. Aber nur auf den Schultern *Keplers* konnte *Newton* sich so hoch erheben, und stets wird jener neben diesem als ein Stern erster Größe glänzen. *Kepler* aber wäre zu seinem Ruhme wohl schwerlich gelangt, hätte ihm nicht *Copernikus* durch Hinwegräumung des Haupthindernisses einer besseren Erkenntnis Bahn gebrochen, und so schließt sich auch dieser Mann, als der dritte im Bunde, jenen beiden genannten Männern würdig an.

An diesen drei Männern zeigt es sich deutlich, daß es dem Menschen nicht vergönnt ist, die ganze Wahrheit auf einmal zu erkennen, sondern daß er, sowie die Finsternis der Nacht nur allmählich dem vollen Lichte des Tages weicht, nur allmählich, von Stufe zu Stufe zu dem herrlichen Lichte der Wahrheit emporsteigen kann.

Diesen allmählichen Fortschritt zeigt auch die Entwicklung der Astronomie: sie stieg von der Betrachtung des Scheins zum Erfassen des Seins, vom Aeußern zum Innern, von den Erscheinungen zu den sie bewirkenden Ursachen auf, und die vier Männer, deren wir in diesem Abschnitte etwas ausführlicher

Erwähnung gethan, bezeichnen die vier Hauptentwicklungsstufen der astronomischen Wissenschaft.

Ptolemäus gehört ganz der Stufe des Scheins an; sein Standpunkt war im ganzen der der naiven Naturbetrachtung. Ein erfolgreicher Fortschritt war unmöglich, so lange sein System den Punkt bildete, von dem man ausging, um zur Wahrheit zu gelangen.

Erst mit *Copernikus* beginnt die eigentliche Entwicklung. Er zertrümmerte das System des Scheins, beseitigte die den Fortschritt hemmenden Vorurtheile und zeigte den richtigen Standpunkt, von dem aus die der Betrachtung sich darbietenden Erscheinungen beurtheilt werden müssen. Durch ihn erst konnten die bis dahin gemachten Beobachtungen der Erforschung der Wahrheit dienstbar werden, während sie zuvor nur um so tiefer in den Irrthum hineingeführt hatten, je vollkommener sie geworden waren.

Kepler zeigte durch seine unermüdliche Prüfung und Vergleichung der vorhandenen Beobachtungen das Gesetzmäßige in den Erscheinungen und bereitete durch seine berühmten drei Gesetze die Erforschung der Ursachen vor, deren Ausfluß und Wirkung jene Gesetzmäßigkeit ist.

Diese Grundursache selbst zu erkennen, von dem Wie zu dem Warum hindurchzudringen, war dem scharfsinnigen *Newton* vorbehalten. Er fand in der Attraction oder allgemeinen Schwere die allgemeine Grundursache aller Bewegungen der Himmelskörper, beschränkte sich nicht auf die verhältnismäßig engen Räume unseres Planetensystems, sondern fand für den ganzen Weltenbau, wie er sich an dem gestirnten Himmel darstellt, das einigende Band. Ihm gebührt daher der größte Ruhm. Auf welchem Wege er aber zu der erreichten Höhe emporstieg, wollen wir der letzten Abtheilung des Buches zu zeigen vorbehalten.

9. **Neue Theorie der Planetenbewegung.** Ein Gegenstand von außerordentlicher Wichtigkeit ist die Berechnung der Bahnen der Planeten und die Bestimmung des Ortes, den ein Planet in seiner Bahn zu einer bestimmten Zeit eingenommen hat, oder in Zukunft noch einnehmen wird. So lange die Planetenbahnen als Kreise angenommen wurden, in denen die Planeten selbst mit gleichmäßiger Geschwindigkeit sich bewegten, konnte die Rechnung keine schwierige sein; denn hatte man den Ort eines Planeten für einen gewissen Zeitpunkt (Epoche) durch Beobachtung bestimmt, so war es bei bekannter Umlaufszeit des Planeten durch Addition oder Multiplikation der täglichen Bewegung desselben leicht, den Ort des Planeten nach einer beliebigen Reihe von Tagen, von jenem Zeitpunkte an gerechnet, zu bestimmen. Freilich wich, weil die Annahme kreisförmiger Bahnen und gleichmäßiger Bewegung der Planeten in der Natur nicht begründet war, die Rechnung oft nicht unbedeutend von der Beobachtung ab, und wir haben bereits angedeutet, wie man sich im Alterthume, und selbst *Copernikus* noch, durch den excentrischen Kreis und durch die Epicykel zu helfen suchte.

Nachdem aber durch *Kepler* an die Stelle der Kreise Ellipsen, an die der gleichmäßigen Bewegung die ungleichmäßige getreten war, mußte die Berechnung

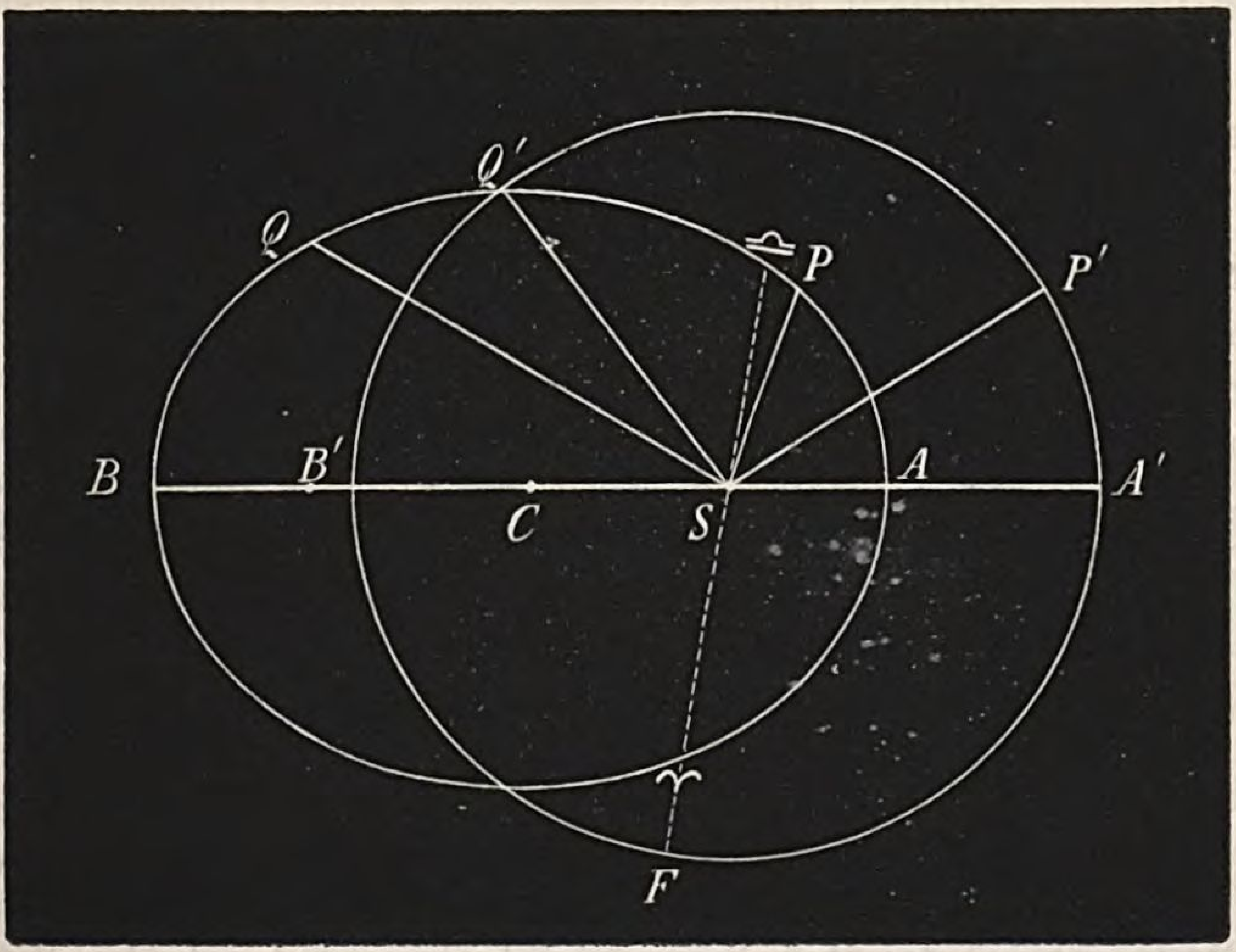
der Planetenbahnen und des Planetenortes zu irgend einer Zeit eine wesentlich andere werden, und wir wollen in dieser Beziehung das Wesentlichste mittheilen.

Es sei, *Fig. 83*, APB die elliptische Bahn eines Planeten, die von diesem in 180 Tagen durchlaufen wird, und in deren einem Brennpunkte die Sonne S steht. Von dem Punkte S aus sei mit einem Halbmesser, der gleich der halben großen Achse der Ellipse, also $= \frac{1}{2} AB = CA$ ist, ein Kreis beschrieben, von dem wir annehmen wollen, daß er von einem nur gedachten, dem mittleren Planeten, ebenfalls in 180 Tagen, aber mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durchlaufen werde. Zugleich möge angenommen werden, daß der wahre und der mittlere Planet zu derselben Zeit durch die große Achse gehen, daß also der erstere in A, wenn der letztere in A', jener in B, wenn dieser in B' sich befindet.

Etwa 15 Tage nach der Zeit, zu welcher die beiden Planeten in A resp. A' sich befanden, hat der mittlere Planet, da 15 Tage der 12. Theil von der ganzen Umlaufszeit sind, den 12. Theil seines Kreises zurückgelegt, so daß er um den Winkel $A'SP' = 30^{\circ}$ von jenem Anfangspunkte A' entfernt ist; ebenso muß die Fläche des Kreisausschnittes oder Sectors $A'SP'$ dem 12. Theil der ganzen Kreisfläche gleich sein.

In den angenommenen 15 Tagen ist der wahre Planet von seinem Perihel A mit abnehmender Geschwindigkeit durch den Bogen AP fortgeschritten; dieser Bogen und der zu ihm gehörige Winkel ASP ist aber größer als der Bogen $A'P'$ und der von ihm bespannte Winkel $A'SP'$, weil der wahre Planet wegen geringerer Entfernung von der Sonne mit größerer Geschwindigkeit als der mittlere sich bewegt. Da aber nach dem zweiten *Kepler*schen Gesetze der *Radius vector* in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreibt, so muß die Fläche des elliptischen Sectors ASP der 12. Theil der Fläche der ganzen Ellipse sein. Man findet, beiläufig gesagt, den

Fig. 83.



Flächeninhalt einer Ellipse, indem man das Produkt der halben großen und halben kleinen Achse mit der bekannten, das Verhältnis des Durchmessers zur Peripherie des Kreises anzeigenden Zahl 3,14 multiplicirt. Ist aber der Flächeninhalt des

elliptischen Sectors bekannt, so läßt sich mit Hilfe der Geometrie unschwer der zu ihm gehörige Winkel ASP, sowie der *Radius vector* SP für die entsprechende Zeit berechnen. Winkel ASP aber bestimmt die elliptische Länge des Planeten, falls die Lage der großen Achse AB bekannt ist; der *Radius vector* SP aber mißt die entsprechende Entfernung des Planeten von der Sonne.

Den von dem mittleren Planeten in einer bestimmten Zeit durchlaufenen Winkel, in unserem Falle Winkel $A'SP'$, nennt man die mittlere Anomalie, den vom wahren Planeten in derselben Zeit beschriebenen Winkel, hier Winkel ASP, die wahre Anomalie des Planeten. Winkel $P'SP$ aber, um welchen die mittlere und die wahre Anomalie verschieden sind, wird die Gleichung der Bahn genannt. Diese ist in dem angenommenen Falle positiv (+), und muß zur mittleren Anomalie hinzugezählt werden, um die wahre zu finden; sie wird aber negativ (—), und muß daher von der mittleren Anomalie abgezogen werden, wenn der wahre Planet in der Nähe des Aphels sich befindet. So ist, *Fig. 83*, die wahre Anomalie, Winkel QSB, um den Winkel QSQ' kleiner als die mittlere Anomalie, Winkel $Q'SB'$. Daß es zwei Punkte der elliptischen Bahn geben muß, wo die Gleichung der Bahn gleich O ist, folgt aus dem Gesagten von selbst.

10. **Von den Elementen der Planetenbahnen.** Wir haben oben gezeigt, wie man verfährt, um den Ort eines Planeten in seiner Bahn oder seine elliptische Länge zu bestimmen. Wenn man aber die Größe und die Gestalt der Bahn eines um die Sonne kreisenden Himmelskörpers, sowie die Lage der Bahn im Weltenraume will angeben können, so müssen zuvor bestimmte Bestimmungsstücke gesucht werden, die man die Elemente der Bahn zu nennen pflegt. Es giebt sieben solcher Bestimmungsstücke, von denen sich die fünf ersten vornehmlich auf die eigenthümliche Gestalt der Bahn und die Bewegung des Himmelskörpers in derselben, und die beiden anderen auf die Lage der Bahn beziehen.

Die sieben Bahn-Elemente sind:

1) Die halbe große Achse der Bahn,
2) die Excentricität der Bahn,
3) die Länge des Perihels für eine gewisse Zeit,
4) die mittlere Länge des Planeten zur Zeit des Perihels (die Epoche),
5) die siderische Umlaufszeit des Planeten,
6) die Länge des aufsteigenden Knotens der Bahn,
7) die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik.

11. **Kurze Erläuterung der Bahn-Elemente.**

1) Die halbe große Achse der Bahn eines Planeten nennt man bekanntlich auch die mittlere Entfernung desselben von der Sonne.

2) Die Excentricität der Bahn ist die Entfernung der Brennpunkte von dem Centrum der Ellipse. Je größer dieselbe, desto länglicher ist die Ellipse, je kleiner sie ist, desto mehr nähert sich die Ellipse dem Kreise.

3) Die Länge des Perihels. Wir haben bereits S. 65 gelernt, daß die Länge eines Punktes am Himmel der Winkel ist, den der durch diesen Punkt gehende Breitenkreis mit dem durch den Frühlingspunkt gehenden Breitenkreise im Pole der Ekliptik bildet, und daß das Maß dieses Winkels der zwischen beiden Breitenkreisen liegende Bogen der Ekliptik ist. Zugleich erinnern wir daran, daß die Länge stets vom Frühlingspunkte aus und von W. nach O. 360° herum gezählt zu werden pflegt. Bedeutet nun in *Fig. 83* die Ellipse APQ'.... eine Planetenbahn, in dieser A das

Perihel, und bezeichnet die punktirte Linie ♈♎ die Richtung der Aequinoctiallinie und ♈ den Frühlingspunkt; so ist Winkel ♈SA oder Bogen ♈A die Länge des Perihels A.

4) Die mittlere Länge des Planeten zur Zeit des Perihels. Hierunter versteht man die Länge des gedachten mittleren Planeten in dem Augenblick, in welchem der wahre Planet in seinem Perihel steht. Stände z. B. ein Planet, *Fig. 83,* in dem Perihel A, und in demselben Momente der mittlere Planet in P', so würde Winkel FSP' oder Bogen FP' die mittlere Länge des Planeten oder eigentlich die Länge des mittleren Planeten zur Zeit des Perihels bezeichnen. Diese Zeit selbst wird die Epoche genannt.

5) Die siderische Umlaufszeit des Planeten ist die Zeit, innerhalb welcher der Planet heliocentrisch 360° durchläuft oder wieder zu demselben Fixstern zurückkehrt.

6) Die Länge des aufsteigenden Knotens der Bahn. Wir haben bereits von den Knoten der Mondbahn gesprochen und dieselben als die Endpunkte der geraden Linie bezeichnet, in welcher sich die Ebenen der Erd- und Mondbahn schneiden. Auch die Ebenen der Planetenbahnen weichen mehr oder weniger von der Ebene der Erdbahn oder der Ekliptik ab, und es werden die dadurch entstehenden Durchschnittslinien jener Ebenen mit der Ebene dieser die Knotenlinien jener Bahnen, die Endpunkte derselben aber die Knoten genannt, welche letztere wieder als auf- (☊) und absteigender (☋) Knoten unterschieden werden. Ersterer ist derjenige Punkt, von welchem sich der Planet über die Ebene der Ekliptik erhebt, letzterer derjenige, von welchem er unter diese Ebene herabsinkt. — Die Entfernung des aufsteigenden Knotens vom Frühlingspunkte, von diesem nach O. gezählt, ist die Länge dieses Knotens.

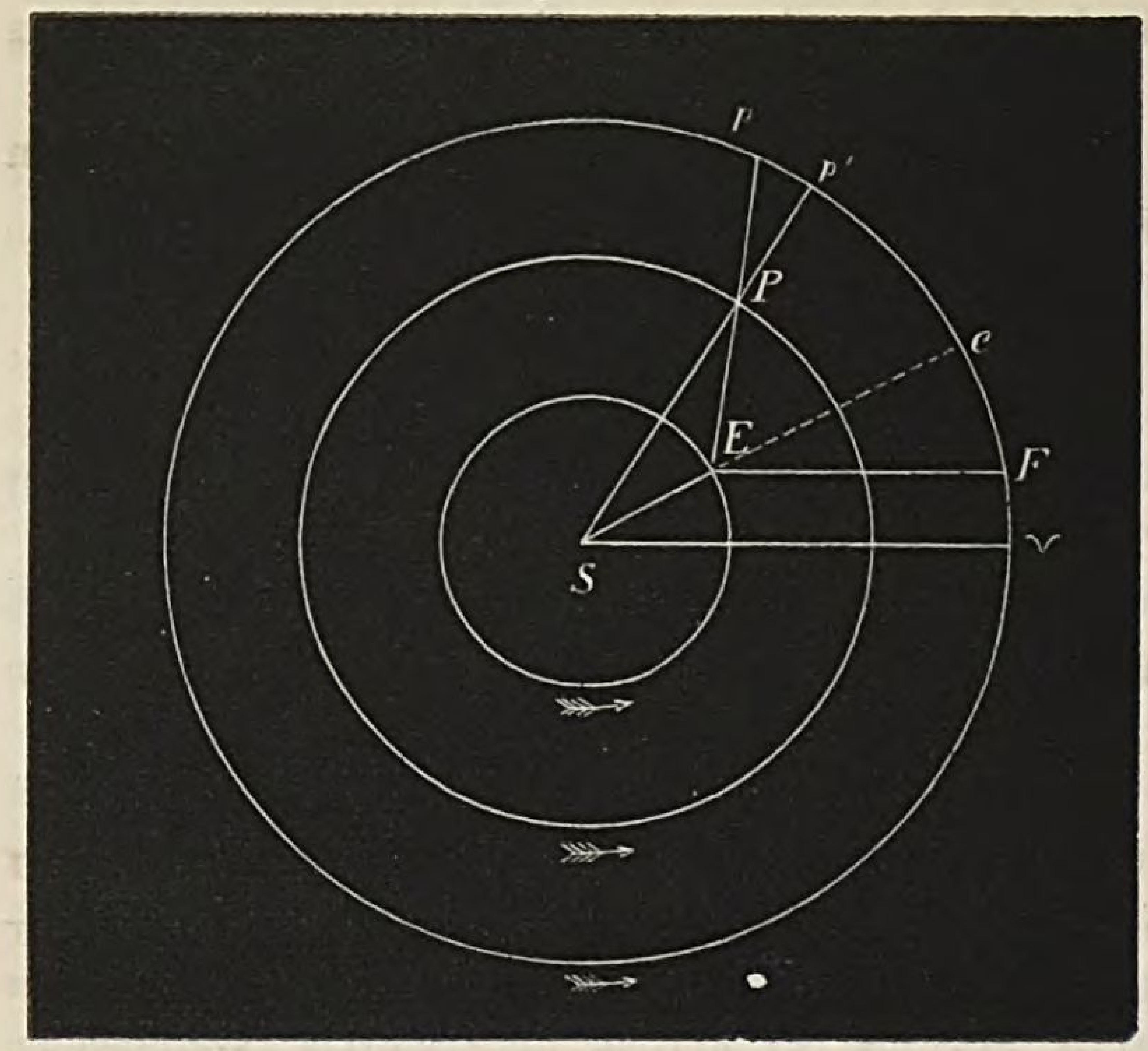
7) Die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik endlich ist der Winkel, um welchen die Planetenbahn von der Ekliptik abweicht. Im allgemeinen ist dieser Winkel klein, und nur einzelne Planeten zeigen, wie später noch näher angegeben werden wird, eine beträchtlichere Abweichung ihrer Bahnen von der Ekliptik.

12. **Geocentrischer und heliocentrischer Ort eines Planeten.** Wenn in dem Obigen von Länge die Rede war, so ist damit stets heliocentrische Länge gemeint, d. h. es ist der Ort der Planeten und der betreffenden Punkte ihrer Bahn bestimmt worden, wo sie von dem Mittelpunkte der Sonne aus gesehen erscheinen würden.

Da wir auf der Erde uns nicht im Mittelpunkte der Planetenbahnen befinden, außerdem aber die Entfernung der Planeten von der Erde der Entfernung der Erde von der Sonne gegenüber nicht, wie bei den Fixsternen, als unendlich groß angesehen werden kann: so ist der vom Erdmittelpunkte aus gesehene Planetenort, der geocentrische Ort, ein anderer, als der vom Sonnenmittelpunkte aus gesehene, heliocentrische Ort. Dieser Unterschied war den Alten unbekannt, derselbe ward aber nothwendig, nachdem *Copernikus* die Erde aus der Mitte des Systemes gerückt hatte. Es ist aber keine schwierige Aufgabe, den geocentrischen Ort eines Planeten, wie ihn unsere Beobachtungen ergeben, durch Rechnung in den heliocentrischen zu verwandeln.

Zur Erläuterung der Sache diene *Fig. 84.* Es sei in derselben S die Sonne, der erste Kreis die Erdbahn und darin E die Erde, der zweite Kreis die Bahn eines Planeten P, und der äußerste Kreis endlich der in unendliche Entfernung zu

Fig. 84.



setzende Himmel. An diesem bezeichne ♈ den Frühlingspunkt, so ist S♈ ein Theil der Aequinoctiallinie. Die Richtung der Bewegung der Planeten in ihren Bahnen, sowie die Folge der Zeichen der Ekliptik mögen die Pfeile andeuten.

Zieht man die gerade Linie SE, so ist Winkel ♈SE oder Bogen ♈e die heliocentrische Länge der Erde, und diese ist, da die Erde von der Sonne aus in dem entgegengesetzten Punkte des Himmels gesehen werden muß, als in welchem die Sonne von der Erde aus erscheint, stets um 180° größer als die geocentrische Länge der Sonne.

Von der Erde E aus wird der Planet in der Richtung EP gesehen, und da die mit S♈ parallele Linie EF wegen der unendlichen Entfernung der Fixsterne von der Erde als mit der Aequinoctiallinie S♈ zusammenfallend angenommen werden kann, so bezeichnet Winkel FEP oder Bogen ♈p die geocentrische Länge des Planeten.

Wird ferner die Linie SP gezogen, so ist Winkel ♈SP oder Bogen ♈p' die heliocentrische Länge des Planeten.

Wenn nun durch den Sonnenort für irgend einen Zeitpunkt auch die heliocentrische Länge der Erde, außerdem aber durch Beobachtung die geocentrische Länge des Planeten bekannt ist, so läßt sich mit Hilfe der Geometrie die heliocentrische Länge des Planeten für jenen Zeitpunkt durch Rechnung finden.

Noch mag beiläufig gesagt werden, daß der Winkel ESP an der Sonne die Commutation, Winkel EPS an dem Planeten aber die Parallaxe des Planeten genannt zu werden pflegt. Erstere ist, wie aus der Figur hervorgeht, stets gleich der heliocentrischen Länge des Planeten, vermindert um die heliocentrische Länge der Erde, letztere gleich der geocentrischen Länge des Planeten, vermindert um die heliocentrische Länge desselben.

Da die Bahnen der Planeten nicht mit der Ebene der Ekliptik zusammenfallen, so ist es auch hinsichtlich der Declination (S. 64) und der Breite (S. 65) der Planeten nicht einerlei, ob man dieselben von der Erde oder von der Sonne aus betrachtet; es muß daher auch eine heliocentrische und geocentrische Declination und Breite der Planeten unterschieden werden.

13. **Planetentafeln.** Nach Bestimmung und mit Benutzung der Elemente der Planetenbahnen ist man mit Hilfe der *Kepler*schen Gesetze im stande, die Bahn eines jeden Planeten, sowie den Ort dieses in seiner Bahn für irgend eine Zeit durch Rechnung zu bestimmen. Die für diese Rechnung nöthigen Angaben sind von den Astronomen in gewissen Tafeln zusammengestellt, die Planetentafeln genannt werden. Mit Hilfe derselben kann man die Bewegungen der Planeten gleichsam controliren, und die Beobachtungen stimmen bei den längere Zeit bekannten Planeten

in so befriedigendem Maße mit den Resultaten der Rechnung, daß hierdurch der beste Beweis für die Richtigkeit des durch *Kepler* verbesserten Copernikanischen Systems geführt ist.

Es würde uns aber zu weit führen, wenn wir hier vollständige Planetentafeln mittheilen und die Art des Gebrauchs derselben zeigen wollten.

Fünftes Kapitel.

Von der Einrichtung und Ausdehnung des Planetensystems, soweit es gegenwärtig bekannt ist.

Bei den bisherigen Auseinandersetzungen des dritten Abschnitts sind wir im allgemeinen dem historischen Gange der Sache gefolgt, weil sich dies für den behandelten Gegenstand als der natürlichste und geeignetste Weg empfiehlt. Auch in dem letzten Kapitel dieses Abschnittes wollen wir diesen Weg nicht verlassen und kurz darstellen, welche neuen Gebilde man im Laufe der Zeit als Glieder des Planeten- oder besser Sonnensystems entdeckt hat, und wie dadurch die Grenzen des Systems so bedeutend erweitert und hinausgerückt worden sind.

1. **Wichtigkeit des Fernrohrs.** Zunächst ist es die Erfindung des Fernrohrs gewesen, welche an der Erweiterung der astronomischen Kenntnisse überhaupt und an der genaueren Erforschung des Sonnensystems im besonderen den wesentlichsten Antheil hat, und zwar besonders dadurch, daß es den Sinn des Gesichts in nicht geahnter Weise geschärft und so dem Auge Dinge geoffenbart hat, die ihm ohne dasselbe wahrscheinlich für immer verschlossen geblieben wären. Durch die Verbindung des Fernrohrs mit Meßinstrumenten geschah ein fernerer großer Schritt zur Vervollständigung und Vervollkommnung des astronomischen Wissens. So konnten z. B. die Entfernungen der Planeten von der Erde und der Sonne, worüber selbst *Kepler* noch so wenig Zuverlässiges wußte, mit befriedigender Genauigkeit bestimmt und die Bewegungen derselben mit größerer Schärfe beobachtet werden, als es zuvor je möglich gewesen war. Wir werden noch sehen, inwiefern die genauen Beobachtungen ebenfalls zu Entdeckungen im Sonnensysteme geführt haben; allein dies wäre unmöglich gewesen, wenn nicht neben der Schärfung der Sinne durch verbesserte Beobachtungsinstrumente und Beobachtungsmethoden auch der Verstand in der vervollkommneten Mathematik und der Entwicklung der höheren Analysis die Mittel erhalten hätte, aus den gemachten Beobachtungen neue, wichtige Resultate zu gewinnen. — Bis zur Erfindung des Fernrohrs kannte man nur die im Alterthume bekannten fünf Planeten.

2. **Neu entdeckte Planeten.** Die erste Entdeckung durch das Fernrohr war die der vier Monde Jupiters. Sie wurden zuerst von *Simon Marius*

in Ansbach am 29. December 1609, und dann von *Galilei* zu Padua am 7. Januar 1610 gesehen.

Bald folgte die Entdeckung der merkwürdigen Gestaltung Saturns. Die eigenthümliche Gestalt dieses Planeten ward bereits 1610 von *Galilei* wahrgenommen, aber erst am 17. December 1657 von *Huyghens* in ihrer Wahrheit erkannt. Er deutete, was bereits 1656 *Hevelius* als zwei Seitenstäbe bezeichnet hatte, als einen den Saturn frei umschwebenden Ring, dessen Theilung in zwei Ringe etwa 50 Jahre später *Cassini* entdeckte.

Die Entdeckung der außer den Ringen Saturn umkreisenden acht Trabanten geschah nicht auf einmal, sondern zwischen 1655 und 1789, da einige so klein erscheinen, daß sie nur in sehr lichtstarken Fernröhren gesehen werden können; ja der 7. Trabant, der vorletzte im Abstande vom Hauptplaneten, ward erst 1848 von *Bond* in Cambridge (Vereinigte St.) und von *Lassell* in seinem Riesentelescope aufgefunden.

Am 13. März 1781 ward Uranus von *William Herschel* zu Bath entdeckt, und bis zum Jahre 1794 folgte die Entdeckung seiner sechs Monde.

Am reichsten an neu entdeckten Planeten ist das gegenwärtige Jahrhundert. Es wurden in demselben nicht weniger als 109 neue Planeten und 1 Mond gefunden. Die Mehrzahl dieser Planeten, 108, gehört zu den kleinsten Körpern des Sonnensystems, und sie werden deshalb Asteroiden oder Planetoiden genannt. Der erste dieser kleinen Planeten, Ceres, ward am 1. Januar 1801 von *Piazzi* zu Palermo, der letzte, Hekuba, am 2. April 1869 von *Luther* in Düsseldorf entdeckt. Sie umkreisen die Sonne in Abständen von etwa 45 mill. bis 72 mill. Mln. und in Zeit von 3,2 bis 6,5 Jahren. Eine speciellere Besprechung derselben wird im folgenden Theile des Buches gegeben werden.

Als die interessanteste aller Planeten-Entdeckungen ist die des Neptun, des äußersten aller Planeten, zu bezeichnen. Er ward von *Galle* in Berlin am 23. Septbr. 1846 auf Veranlassung des französischen Astronomen *Leverrier* aufgefunden. Dieser hatte den Ort des Planeten auf die scharfsinnigste Weise berechnet, jener den Planeten gleich am ersten Abend der Beobachtung glücklich entdeckt.

Lassell fand ferner am Anfange des August 1847, daß dieser Planet von einem Monde umkreiset werde, und am 14. August 1850 will er einen zweiten Satelliten gefunden haben, der aber bis jetzt noch von keinem andern Astronomen gesehen worden ist, so daß seine Existenz wohl mehr als fraglich ist.

Am 26. März 1859 endlich soll ein französischer Arzt, Dr. *Lescarbault*, einen neuen Planeten zwischen der Sonne und dem Merkur entdeckt haben, dessen wahrscheinliche Existenz *Leverrier* schon vermuthet hatte. Seine Existenz ist indessen noch nicht sichergestellt.

So ist mit Hilfe des Fernrohrs die Kenntnis des Sonnensystems in ungeahnter Weise gefördert worden, und die Grenzen des ganzen Systems sind durch die Entdeckung der beiden äußersten Planeten Uranus und Neptun von c. 200 mill., der Entfernung Saturns von der Sonne, bis auf 621 mill. Mln. hinausgerückt worden.

3. **Kometen.** Als eine zweite eigenthümliche Gruppe von Körpern des Sonnensystems sind die Kometen zu betrachten. Auch sie schwingen sich zum Theil (ob alle ist fraglich) unter dem Einflusse der Attraction der Sonne um diese als Centralkörper, aber nicht, wie die Planeten, in wenig, sondern in sehr excentrischen Ellipsen. — Daß im Alterthume Kometen beobachtet worden sind, ist eine bekannte Thatsache, und Nachrichten über Erscheinung von auffälligen Kometen reichen in chinesischen Urkunden bis weit vor den Anfang unserer christlichen Zeitrechnung hinauf. Allein man betrachtete sie früher nicht als Glieder des Sonnenstaates, sondern vielmehr als Unheil verkündende Gäste, die nur erschienen, die Welt zu schrecken. Als wesentliche Bestandtheile des Sonnensystems sind die Kometen erst in neuerer Zeit erkannt worden. Erst *Newton* zeigte, daß sie der Sonne gehorchen und ihre Bewegung denselben Gesetzen unterworfen ist, wie die der Planeten, und *Halley* war der erste, welcher die von *Newton* angegebene Methode der Bahnberechnung auf sie mit günstigem Erfolge anwandte. Er berechnete 24 Kometen und fand, daß 3 davon, die in den Jahren 1531, 1607 und 1682 erschienen waren, wegen der auffallenden Aehnlichkeit der Bahnelemente identisch sein müßten. Er wagte deshalb die Wiederkehr derselben auf das Jahr 1759 vorauszusagen. Seit dem Eintreffen des Kometen wird derselbe der *Halley*sche genannt. Von nun an wandte man diesen eigenthümlichen Weltkörpern eine erhöhte Aufmerksamkeit zu, berechnete mit größerer oder geringerer Sicherheit die Bahnen von etwa 230 und beobachtete bei mehreren Kometen mit kurzer Umlaufszeit bereits eine mehrmalige Wiederkehr. Die am sichersten bekannten und interessantesten werden wir später einzeln betrachten.

4. **Aerolithenschwärme.** Als einen neuen Bestandtheil des Sonnensystems kann man mehrere Schwärme von höchst kleinen Körpern betrachten, die in elliptischen Ringen die Sonne umschwärmen und als die Ursache der oft, besonders im August und November, beobachteten Sternschnuppen angesehen werden. Weil man diese lange Zeit hindurch zu den feurigen Lufterscheinungen zu zählen gewohnt war, so wurden die sie veranlassenden Körperchen Aerolithen genannt. Da nach der der neuesten Zeit angehörenden Entdeckung *Schiaparellis* in Mailand ein interessanter Zusammenhang zwischen ihnen und den Kometen besteht, so können für die Folge vielleicht die beiden letztgenannten Theile des Sonnensystems zu einem vereinigt werden.

5. **Der Nebelring.** Eine eigenthümliche Erscheinung, die sich fast allnächtlich in den Tropengegenden der Beobachtung darbietet, in unsern Breiten aber auffallend nur im Februar und März abends, desgleichen im September und October morgens bei sehr heiterm Himmel erscheint, ist das sogenannte Zodiakallicht, ein heller Schein, der in Gestalt einer Lichtpyramide zu geringerer oder größerer Höhe am Himmel emporsteigt.

Zur Erklärung dieser räthselhaften Erscheinung hat man eine Hypothese aufgestellt, nach welcher zwischen der Venus- und Erdbahn ein flacher Nebel- oder Staubring von geringer Dicke, aber ansehnlicher Breite sich um die

Sonne schwingen, und dessen Erleuchtung durch die Sonne das Zodiakallicht hervorrufen soll.

6. **Zusammenfassung.** Wenn diese Hypothese begründet ist, so würden nach dem Gesagten sechs verschiedenartige Bestandtheile des Sonnensystems unterschieden werden müssen, nämlich:

1) Die alles beherrschende **Sonne**, fast in der Mitte des Systems;
2) **116 Hauptplaneten,** die am besten in drei Gruppen zu theilen sind, in eine innere Gruppe: Merkur, Venus, Erde und Mars, eine mittlere Gruppe: die 108 Asteroiden, eine äußere Gruppe: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.
3) **20 Nebenplaneten** oder **Satelliten,** die sich so auf die einzelnen Planeten vertheilen, daß die Erde 1, Jupiter 4, Saturn 8, Uranus 6, Neptun 1 derselben besitzen;
4) eine große Zahl von **Kometen,** von denen 8 bis jetzt periodisch wiedergekehrt sind;
5) mehrere Schwärme von **Aerolithen** oder **Meteoriten,** von denen zwei, der August- und der Novemberschwarm, besonders zahlreich sind;
6) ein **Nebel-** oder **Staubring.**

7. **Das Sonnensystem in seiner jstzigen Gestalt und Zusammensetzung.** Ordnen wir die genannten Bestandtheile des Sonnensystems mit Ausschluß der Kometen und Meteoriten, von der Sonne ausgehend, nach ihren mittleren Entfernungen von der Sonne, so läßt die folgende Uebersicht die Zusammensetzung und Anordnung des Systems, soweit es gegenwärtig erforscht ist, erkennen.

	Mittl. Entfernung von der Sonne in mill. geogr. Meilen.	Siderische Umlaufszeit in Jahren,	Tg.,	Std.	Min.	Sek.
Die Sonne.						
Merkur	8,005	—	87	23	15	46
Venus	14,959	—	224	16	49	7
Der Staubring.						
Erde	20,682	—	365	6	9	10
Mars	31,513	1	321	23	30	25
108 Asteroiden	45,53 bis	3	97	6 bis		
	72,24	6	192	16	—	—
Jupiter	107,602	11	314	14	2	7
Saturn	197,281	29	166	55	16	23
Uranus	396,722	84	5	19	41	36
Neptun	621,159	164	216	9	36	—

Zur Vervollständigung der Uebersicht lassen wir hier noch die acht sicher periodischen Kometen nach ihrer mittleren Entfernung von der Sonne und ihren siderischen Umlaufszeiten folgen.

	Mittl. Entfernung von der Sonne in mill. geogr. Meilen.	Siderische Umlaufszeit in Jahren.
Komet von *Encke*	45,852	3,302
» » *de Vico*	64,114	5,459
» » *Winnecke*	64,921	5,56
» » *Brorsen*	66,037	5,562
„ » *d'Arrest*	71,228	6,390
» » *Biela*	72,850	6,603
» » *Faye*	78,860	7,445
» » *Halley*	372,027	76,291

Eine Darstellung des ganzen Sonnensystems mit den meisten der hier genannten Bestandtheile ist auf Tafel *I* gegeben worden.

Zur näheren Erläuterung derselben sei noch Folgendes bemerkt: Der äußerste Kreis bedeutet die Ekliptik, so daß also die Ebene des Papiers als die Ebene derselben angesehen werden muß. Die Ekliptik ist einmal in die zwölf bekannten Zeichen, sodann aber auch in 360° getheilt worden, um die Länge gewisser Punkte der Planetenbahnen bestimmen zu können. Die Figur zeigt die Bahnen der Planeten und Kometen so, wie sie sich einem in gehöriger Entfernung gerade über der Ebene der Ekliptik befindlichen Auge darstellen würden.

Was die Planetenbahnen betrifft, so sind dieselben sämtlich als Kreise gezeichnet; aber es ist ihre Excentricität berücksichtigt worden. Die ganz ausgezogenen Hälften der Bahnen sollen als über, die punktirten als unter der Ebene der Ekliptik liegend gedacht werden; wo beide Theile einander berühren, sind die durch die bekannten Zeichen ☊ und ☋ markirten Knoten der Bahnen. Die heliocentrische Länge dieser Knoten findet man unmittelbar, indem man sich von der Sonne aus durch diese Punkte zur Ekliptik gerade Linien zieht. Außerdem sind die Punkte des Perihels und Aphels sichtbar gemacht, und ist die heliocentrische Länge dieser Punkte für alle Planeten an der Gradtheilung der Ekliptik bezeichnet worden.

Die Bahnen der Asteroiden darzustellen, ist bei dem angenommenen Maßstabe unmöglich; der dunkle Raum soll nur die Region bezeichnen, innerhalb welcher diese Bahnen liegen.

Von den Kometenbahnen sind die der bekanntesten mit kurzen Umlaufszeiten und die des *Olbers*schen und *Halley*schen Kometen zur Darstellung gekommen. Wegen der nicht unbedeutenden Neigung der meisten dieser Bahnen zur Ekliptik erscheinen sie in der Figur aus dem oben angegebenen Grunde länglicher und schmaler, als es der Fall sein würde, wenn sich das Auge senkrecht über der Ebene dieser Bahnen befände.

8. **Merkwürdiges Verhältnis der Entfernung der Planeten von der Sonne.** Vergleicht man die Zahlen, welche die Entfernung der Planeten von der Sonne ausdrücken, so läßt sich in denselben ein eigenthümliches Ver-

hältnis erkennen, das fast an Gesetzmäßigkeit erinnert. Mit der Sache ward der verdienstliche *Bode* durch eine Uebersetzung von *Bonnets* »*Contemplation de la nature*« bekannt, die Prof. *Titius* in Wittenberg geliefert hatte. *Bonnet* sagt etwa: Theilt man die Entfernung Saturns von der Sonne, etwa 200 mill. Mln., in 100 gleiche Theile, so kommen dem Merkur davon 4 Theile, den folgenden Planeten aber 4+3, 4+6, 4+12, 4+24 Theile u. s. w. zu. Multiplicirt man diese Summen mit 2 mill., so erhält man nahezu richtig die Entfernung der Planeten von der Sonne in geogr. Meilen.

Um die Sache übersichtlicher und behaltlicher zu machen, wollen wir sie in anderer Form darstellen. Es ist nämlich nach der obigen Reihe die Entfernung von der Sonne für:

Merkur	4	=	4 × 2 =	8	mill. Mln.
Venus	4 +	3 =	7 × 2 =	14	» »
Erde	4 +	6 =	10 × 2 =	20	» »
Mars	4 +	12 =	16 × 2 =	32	» »
Die Asteroiden	4 +	24 =	28 × 2 =	56	» »
Jupiter	4 +	48 =	52 × 2 =	104	» »
Saturn	4 +	96 =	100 × 2 =	200	» »
Uranus	4 +	192 =	196 × 2 =	392	» »
Neptun	4 +	384 =	388 × 2 =	776	» »

Diese eigenthümliche Reihe, die eigentlich gar keine richtige geometrische Reihe ist, da sonst zu der Zahl 4 für Merkur $1^1/_2$ hinzugefügt werden müßte, damit die Summen gesetzmäßig wüchsen, ist unter dem Namen des *Bode*schen Gesetzes oder des Gesetzes von *Titius* bekannt. Vergleicht man die Zahlen der Entfernungen, wie wir sie auf S. 284 als wirklich bestehend angegeben haben, mit den vorstehenden, so findet sich zwar im allgemeinen eine leidliche Uebereinstimmung; allein im einzelnen stellt sich doch eine nicht unbeträchtliche Abweichung heraus, wie eine genauere Rechnung zeigt. Es sind nämlich die Verhältniszahlen der Entfernungen nicht, wie nach dem Gesetze,

	4	7	10	16	28	52	100	196	388,
sondern	4,002	7,479	10,341	15,756	30,1	53,801	98,640	198,361	310,6.

Diese Abweichungen sind so beträchtlich, daß die Entfernungen der Planeten nicht als eine harmonische Reihe bildend angesehen werden können; namentlich weichen die Entfernungen Merkurs und Neptuns von denen, die sie nach jener Reihe haben müßten, nicht unwesentlich ab. Es ist bisher noch nicht gelungen, den Zusammenhang zu entdecken, in welchem die Entfernungen der Planeten von der Sonne, ihre Größe, Dichtigkeit, Rotationszeit, Excentricität und Neigung der Bahn etc. zu einander stehen, und doch ist es mehr als wahrscheinlich, daß alle genannten Dinge durch ein inneres Gesetz der Nothwendigkeit mit einander verbunden und in irgend einer Weise von einander abhängig sind. Nur wenn dem Menschen ein Blick in das innere Getriebe der Kräfte, welche die Welt gestaltet haben, gestattet wäre, würde es ihm gelingen, den Schlüssel zur Lösung des Räthsels zu finden, welches das Sonnensystem ihm darbietet.

Uebrigens ist das sogenannte *Bode*sche Gesetz, das indessen lange vor ihm bekannt war, ein sehr einfaches Mittel, sich ungefähr den Abstand der Planeten von der Sonne zu merken. Außerdem hat das eigenthümliche Verhältnis der Entfernungen, namentlich die große Lücke, welche vor der Entdeckung der Asteroiden zwischen Mars und Jupiter bestand, schon frühere Astronomen, unter andern auch *Kepler*, auf die Vermuthung geführt, daß hier ein noch unbekannter Planet um die Sonne kreisen werde, und *Bode* drang darauf, denselben aufzusuchen. Die Lücke ist gegenwärtig ausgefüllt, aber nicht durch einen, sondern durch 108 kleine Planeten, und wer weiß, ob mit dieser Zahl alle vorhandenen gezählt sind. — Endlich hat das *Bode*sche Gesetz noch einigen Antheil an der Entdeckung des äußersten Planeten, des Neptun; denn es lieferte dem scharfsinnigen *Leverrier* wenigstens eine ungefähre Angabe der Entfernung und mit dieser in Verbindung mit dem dritten *Kepler*schen Gesetze auch der Umlaufszeit des vermutheten Planeten zu seinem verwickelten, mit so günstigem Erfolge gekrönten Calcul.

9. **Noch einige das ganze Sonnensystem betreffende Bemerkungen.** Ehe wir zu der folgenden Abtheilung des Buches, welche der topographischen Beschreibung der einzelnen Bestandtheile des Sonnensystems gewidmet sein wird, übergehen, mögen hier schließlich noch einige allgemeine Bemerkungen über das ganze System ihre Stelle finden.

Die Sonne ist der Centralkörper des ganzen Systems. Sie steht in dem gemeinsamen Brennpunkte der elliptischen Bahnen aller Planeten und Kometen, und fesselt durch ihre außerordentliche Masse, welche die aller Planeten über 700 mal übertrifft, und durch die dadurch bedingte große Anziehungskraft alle Körper des Systems an sich. Natürlich wirkt sie auf die ihr näheren Körper mit größerer Kraft, als auf die ihr ferneren, und da sich diese Kraft in der Geschwindigkeit der Bewegung äußert, so müssen die Geschwindigkeiten der Planeten mit ihrer Entfernung von der Sonne abnehmen. Während Merkur im Durchschnitt täglich 14732″,55 in seiner Bahn fortschreitet, legt Neptun nur 21″,69 zurück.

Die Bahnen aller Planeten sind Ellipsen. Bei den größeren Planeten weichen diese im allgemeinen sehr wenig von einem Kreise ab. Dem Kreise am nächsten ist die Venusbahn, deren Excentricität nur 0,00686 der halben großen Achse beträgt; am meisten excentrisch bei den bezeichneten Planeten ist die Merkursbahn, deren Excentricität = 0,2056 ist.

Viel größere Excentricitäten zeigen die kleineren Asteroiden. So ist z. B. die der Polyhymnia = 0,3318 oder über $\frac{1}{3}$ der halben großen Achse.

Am meisten vom Kreise weichen die Kometenbahnen ab; so beträgt z. B. die Excentricität der Bahn des *Halley*schen Kometen 0,9673, d. i. mehr als $\frac{24}{25}$ der halben großen Achse. Diese Körper kommen daher zur Zeit ihres Perihels der Sonne oft sehr nahe, während sie sich im Aphel weit von ihr entfernen. Da sie uns nur in der Nähe der Sonne sichtbar sind, so liegt unter andern hierin der Grund, daß sie im allgemeinen so selten und dann nur auf kürzere

Zeit gesehen werden können. Es ist aber noch nicht ausgemacht, ob alle Kometen in Ellipsen einhergehen; ihre Bahnen können auch Parabeln und Hyperbeln sein.

Was die Lage der Planetenbahnen anbetrifft, so weichen sie im allgemeinen nur wenig von der Ebene der Ekliptik ab. Bei der großen Mehrzahl ist die Neigung der Bahn kleiner als 10°; es durchlaufen daher die meisten Planeten die Sternbilder des Thierkreises; die größeren thun es alle. Nur die Asteroiden weichen auch hier wieder von den übrigen Planeten ab. Die Neigungswinkel ihrer Bahnen mit der Ekliptik schwanken zwischen 0 und 34°. Um diesen letzteren Winkel weicht die Pallas von der Ekliptik ab. Noch beträchtlicher ist die Neigung der Kometenbahnen; es steigt dieselbe fast bis zu 90°.

Hinsichtlich der Richtung der Bewegung der Planeten in ihrer Bahn ist es ein bemerkenswerther Umstand, daß alle rechtläufig sind, indem sich alle von W. nach O. oder in der Reihenfolge der Zeichen um die Sonne bewegen. Dieselbe Richtung der Bewegung zeigen im allgemeinen auch die mehrere Hauptplaneten umkreisenden Satelliten, und wo eine Rotation hat wahrgenommen werden können, hat sie sich stets, wie bei der Erde, von W. nach O. gerichtet gezeigt. Bei den Kometen dagegen ist keine bestimmte Richtung vorherrschend; sie bewegen sich sowohl recht- als rückläufig, ja nach allen Richtungen des Raumes.

Unterscheiden wir die Planeten wieder in eine innere, mittlere und äußere Gruppe, so zeigen die Planeten jeder dieser Gruppen gewisse gleiche Eigenschaften.

So sind die Planeten der inneren Gruppe, Merkur bis Mars, hinsichtlich der Größe nicht sehr beträchtlich von einander verschieden; ebenso zeigen sie eine nicht bedeutende Abweichung in der Dichtigkeit. Alle sind ferner arm an Monden; nur die Erde hat einen sie begleitenden Satelliten; endlich schwingen sich alle in nahezu 24 Stdn. um ihre Achse.

Die Planeten der mittleren Gruppe, die Asteroiden, zeichnen sich sämtlich durch ihre Kleinheit aus, weshalb sie fast alle nur mit bewaffneten Augen am Himmel gesehen werden können. Daß sie ferner in sehr excentrischen und zum Theil in sehr gegen die Ekliptik geneigten Bahnen einhergehen, ist bereits gesagt worden. Ihre Kleinheit macht es unmöglich, darüber zu entscheiden, ob sie Rotation besitzen oder nicht; doch ist es, wenigstens bei einigen, wahrscheinlich, daß dieselbe vorhanden ist.

Was endlich die äußere Planetengruppe betrifft, so sind sie zunächst durch eine bedeutende Größe ausgezeichnet; namentlich hat Jupiter mehr Masse, als alle anderen Planeten zusammengenommen. Außerdem besitzen sie eine auffallend geringe Dichtigkeit; diese beträgt im Durchschnitt nur etwa $^1/_5$ der Dichtigkeit der Erde. Bei den Planeten dieser Gruppe müssen ferner die Bedingungen für die Mondbildung sehr günstig gewesen sein; denn alle sind mit mehreren Monden umgeben, und bei Saturn scheint das eigenthümliche Ringsystem beabsichtigte, aber nicht ausgeführte Mondbildung zu sein.

Alle äußeren Planeten zeigen endlich eine sehr starke Abplattung infolge der sehr großen Drehungsgeschwindigkeit; es erfolgt nämlich die Rotation derselben (so weit sie bekannt ist) in weniger als der Hälfte eines Erdentages. Es muß auf ihnen ein sehr schneller Wechsel der Tageszeiten, aber wegen der sehr langen Reise um die Sonne und der verhältnismäßigen Langsamkeit der Bewegung ein sehr langsamer Wechsel der Jahreszeiten stattfinden.

Es ist auch wohl darauf aufmerksam gemacht worden, daß sich die Planeten paarweise gruppiren lassen. So bilden Venus und Erde, Jupiter und Saturn, Uranus und Neptun solche Paare, die an Größe einander sehr nahe kommen. Der einzeln dastehende Mars fände vielleicht seinen Gefährten, wenn die Asteroiden zu einem Körper vereinigt werden könnten, und Merkurs Genosse, zwischen ihm und der Sonne, ist vielleicht schon bei seinem Durchgange durch die Sonnenscheibe gesehen worden (s. S. 282 und weiter unten).

Dieses gleichmäßige Verhalten der einzelnen Gruppen der Planeten ist immerhin eine auffallende und bemerkenswerthe Thatsache, die wahrscheinlich nicht bloß zufällig besteht, sondern Folge einer inneren Naturnothwendigkeit ist. Allein, wie schon gesagt, ist es dem Menschen nicht vergönnt, den Schleier zu lüften, der die Entstehungs- und Entwicklungs-Geschichte des Sonnensystems vor seinen Blicken verhüllt, und wenn es wahr ist, was *v. Haller* sagt: »Ins Innre der Natur dringt kein erschaffner Geist«, so dürfte er hier für immer eine Schranke seines Wissens anerkennen müssen.

Dritte Abtheilung.

Topographie des Himmels.

Erster Abschnitt.

Beschreibung der einzelnen Glieder des Sonnensystems.

Erstes Kapitel.

Die Sonne.

Bei der specielleren Betrachtung der einzelnen Glieder des Sonnensystems gebührt der Sonne, ☉, dem Centralkörper des ganzen Systems, der allen Gliedern desselben, den größten wie den kleinsten, die Gesetze vorschreibt, allen aber auch, wenn auch nicht in gleicher Weise, die Segnungen des Lichtes und der Wärme spendet, die erste Stelle.

Sie erscheint uns als ein äußerst glänzender Feuerball, dessen Glanz unmittelbar zu schauen, unser Auge nicht wagen darf, wenn es nicht geblendet werden will. Nur mit verhülltem Auge darf man sie ansehen, und da sie das Glänzendste ist, was dem Menschen auf der Erde zu schauen vergönnt ist, so ist es erklärlich, warum sie noch heute von vielen Völkern als das passendste Symbol der Gottheit betrachtet, ja als diese selbst angebetet und verehrt wird.

Auch die Astronomen haben ihr, besonders in der neuern und neusten Zeit, eine große Aufmerksamkeit geschenkt, und wir wollen nun hören, was sie mit Hilfe der Fernröhre und anderer Instrumente über ihre näheren Eigenschaften erforscht, und welche Ansichten über das Wesen und den Bau der Sonne sie auf Grund der Beobachtungen gewonnen haben.

1. **Scheinbare Größe.** Was die scheinbare Größe der Sonne betrifft, so ist dieselbe wegen der Veränderlichkeit der Entfernung von der Erde eine verschiedene. In der mittleren Entfernung von 20682000 geogr. Mln. beträgt der scheinbare Durchmesser 32′ 1″,8; er ist also nur 54″,8 größer als der des Mondes in seiner mittleren Entfernung von uns. Am 1. Januar, wenn wir der Sonne am nächsten sind, erscheint sie unter dem größten Winkel von 32′ 34″,6, am 2. Juli hingegen, zur Zeit der Sonnenferne, unter dem kleinsten Winkel von 31′ 30″,1. Von dieser Größe des Aequatorial-Durchmessers scheint die Achse nicht verschieden zu sein, so daß eine Abplattung der Sonne an ihren Polen nicht zu bestehen scheint, und die Sonne demnach als eine vollkommene Kugel anzusehen wäre. Nach einigen Beobachtungen jedoch soll sich, abweichend von den gewöhnlichen Verhältnissen, der polare Durchmesser sogar größer erwiesen haben als der Aequatorial-Durchmesser, und zwar um 3″,14, ja sogar 4″,72, was eine Aequatorial-Abplattung von ungefähr 1/280 voraussetzen würde, so daß also die Gestalt der Sonne an die einer Citrone erinnerte.

Allein es ist noch nicht entschieden, ob die Sache auf einer Täuschung beruht, oder ob sie eine wirkliche Thatsache ist; die Zukunft muß hierüber noch erst das rechte Licht verbreiten. Außerdem möge hier nicht unerwähnt bleiben, daß die Vergleichung der seit etwa 100 Jahren angestellten Sonnenbeobachtungen eine Verkleinerung des Sonnendurchmessers ergeben haben soll, und nach *v. Lindenau* soll dieselbe in 33 Jahren 1″,89 betragen, welche Thatsache, falls sie begründet wäre, zu eigenthümlichen Schlüssen Veranlassung geben müßte. Vermindert sich vielleicht das Volumen der Sonne infolge vor sich gehender Abkühlung? Es müßte im Laufe der Zeit einen merklichen Einfluß auf die Wärme- und Lichtverhältnisse und dadurch auf die Gestaltung des Lebens auf der Erde haben. Immerhin aber ist eine Verkleinerung der Sonnenkugel möglich, und sie könnte sogar ganz beträchtlich werden, ehe sie von uns mit Sicherheit wahrgenommen werden könnte. Ein Winkel von einer Sekunde ist ein gar kleiner, und selbst tüchtige Beobachter sind bei ihren Beobachtungen zuweilen um diesen Winkel in Ungewißheit. Wenn der wahre Durchmesser der Sonne täglich sich um 1/2 Fuß verminderte, so würde erst nach 12000 Jahren der scheinbare Durchmesser um eine Bogensekunde kleiner gesehen werden; nach dem Obigen könnte aber eine derartige Verkleinerung der Sonne dennoch übersehen werden. Auch bei dieser Frage muß eine sichere Antwort von der Zukunft erwartet werden.

2. **Wahre Größe.** Ist die scheinbare Größe eines Gegenstandes und seine Entfernung vom Beobachter bekannt, so läßt sich daraus in später näher anzugebender Weise die wahre Größe des Gegenstandes unschwer berechnen. Bei der Sonne hat die Berechnung (nach *Mädler*) einen wahren Durchmesser von 192608 geogr. Mln., d. i. von 112,05 Erddurchmessern, nach *Littrow* von 193030 geogr. Mln. ergeben. Denkt man sich die Sonne hohl, so würden 112 auf einen ihrer Durchmesser gereihte Erdkugeln kaum den inneren Raum ausfüllen. Ja, denkt man sich die Erde in den Mittelpunkt der hohlen Sonne

gestellt, so könnte sich in dem inneren Raume der Mond in 50000 Mln. Entfernung ungehindert um sie bewegen, und dabei würde die Mondbahn noch über 40000 Mln. von der Oberfläche der Sonne entfernt bleiben. Die Sonne ist also eine außerordentlich große Kugel, von deren Größe man sich kaum eine Vorstellung machen kann.

Der Umfang des Sonnen-Aequators beträgt nicht weniger als 605099 Mln. Ein Dampfwagen, der in jeder Stunde 5 Mln. zurücklegt und, unausgesetzt fahrend, schon in 45 Tagen um die Erde kommt, würde die Reise um die Sonne erst in 5042 Tagen oder fast 14 Jahren vollenden.

Die Oberfläche der Sonne beträgt, wie eine einfache Rechnung zeigt, (S. 95) nicht weniger als 116480 mill. Quadratmeilen, d. h. sie ist 12557mal so groß als die Oberfläche der Erde, und mehr denn 50mal so groß als die Oberfläche aller Planeten zusammengenommen.

Der körperliche Inhalt hingegen macht nicht weniger als 3739 bill. Kubikmeilen aus. Er ist somit 1409725mal so groß als der der Erde, so daß fast $1^1/_2$ mill. Kugeln aus der Sonne geformt werden könnten, die mit der Erde gleiches Volumen hätten.

3. **Masse der Sonne.** Dieses Verhältnis der Volumina ist aber nicht das der Masse. Es ist nämlich nach *Enckes* Berechnung die Masse der Sonne, d. i. die Summe ihrer materiellen Theile, das 359551fache der Erdmasse, und das 355499fache der Masse von Erde und Mond zusammen (nach *Littrow* das 354020fache). Es würden also nach dem Gesagten 1409725 Erdkugeln gleiches Volumen, aber nur 359551 Erdkugeln gleiches Gewicht mit der Sonne haben. An Volumen übertrifft die Sonne alle Planeten zusammengenommen um das 600fache, an Masse aber nach *Galle* um das 738fache. Diese außerordentliche Masse sichert ihr die Herrschaft im Systeme; denn in der Körperwelt sind Masse und Entfernung die für die auszuübende Kraft entscheidenden Momente.

4. **Dichtigkeit der Sonne.** Sind die Masse und das Volumen eines Körpers bekannt, so erhält man seine Dichtigkeit, wenn man jene durch dieses dividirt. Führt man die Rechnung mit Benutzung der angegebenen Zahlenwerthe aus, so erhält man die Dichtigkeit der Sonne gleich 0,252, die der Erde gleich 1 gesetzt; sie ist also etwa $^1/_4$ von der der Erde; sie würde also etwa die Dichtigkeit des Ebenholzes oder der Braunkohlen besitzen. Die obige Zahl für die Dichtigkeit giebt aber nur die mittlere Dichtigkeit, d. h. die Dichtigkeit an, welche die Sonne haben würde, wenn sie in allen ihren Theilen gleiche Dichtigkeit hätte. Dies ist jedoch nicht der Fall, indem die Dichtigkeit, wie bei der Erde, von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte hin zunimmt.

5. **Fall der Körper auf der Sonne.** Aus dem angegebenen Massen- und Größenverhältnis der Sonne lassen sich mit Sicherheit noch einige Folgerungen in Beziehung auf die Anziehungskraft ableiten. Da die Stärke derselben zunächst von der Größe der Masse abhängig ist, diese aber bei der Sonne das

359551 fache der Erdmasse ist; so müßten alle auf der Oberfläche der Sonne befindlichen Gegenstände 359551 mal so stark angezogen werden, als die Dinge der Erdoberfläche von der Erde, vorausgesetzt, daß die Sonnenmasse zu einer Kugel vereinigt wäre, die gleichen Durchmesser mit der Erdkugel hätte; denn alsdann würde die große Masse in derselben Entfernung wie die Erde auf die Dinge ihrer Oberfläche wirken.

Allein der Halbmesser der Sonne beträgt 96300 Mln.; er ist also 112,05 mal so groß als der der Erde. Die Sonne wirkt darum auf die Dinge ihrer Oberfläche in 112,05 mal so großer Entfernung, und da nun die Anziehungskraft abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen, so kann die Schwere an der Sonnenoberfläche nur $\frac{359551}{(112,05)^2} = 28,63$ mal so groß sein, als die Schwere an der Erdoberfläche. Eine Wirkung der Anziehung ist der Fall der Körper, und dieser beträgt auf der Erde in der ersten Sekunde 15,1 Fuß; auf der Sonne dagegen muß ein Körper in der ersten Sekunde des Falls einen Raum von 28,63 $\times$ 15,1 Fuß = 432,3 Fuß zurücklegen. Er muß daher in der zweiten Sekunde des Falls schon eine Geschwindigkeit erlangen, die der einer Büchsenkugel etwa gleichkommt. Ein fallender Stein müßte also auf der Sonne für einen von ihm Getroffenen von viel verderblicheren Folgen sein als auf der Erde.

Auch unser eigenes Gewicht würde in dem angegebenen Verhältnis zunehmen, wenn wir auf die Sonne versetzt würden. Wer auf der Erde 1 Ctr. wiegt, würde auf der Sonne ein Gewicht von 28,63 Ctr. besitzen. Es würde darum jede Bewegung, die wir hervorbringen wollten, 28,63 mal so viel Kraft erfordern, oder die hier angewandte Kraft noch nicht den 28. Theil des Erfolges haben. Wenn also z. B. ein tüchtiger Springer mit Aufbietung aller Kräfte 5 Fuß hoch springen könnte, würde er es auf der Sonne nur bis zu 2 Zoll Höhe bringen können, und wer hier auf der Erde 2 Ctr. zu heben vermöchte, würde auf der Sonne noch nicht 8 Pfund zu heben im stande sein. Da ferner alle Dinge der Sonnenoberfläche unter einem mehr denn 28 fachen Drucke stehen, so würden unsere Pflanzen, wenn anders sie zu existiren vermöchten, bei nicht gesteigerter Triebkraft es nur zu dem entsprechenden Theile ihrer jetzigen Höhe bringen, und ein Barometer müßte, um den Druck der dortigen Atmosphäre zu messen, gegen 70 Fuß Länge haben. Diesen einfachen Schlüssen würden sich viele andere hinzufügen lassen; aus dem Gesagten aber geht schon zur genüge hervor, daß die Bedingungen der Existenz auf der Sonne ganz andere sein müssen als bei uns auf der Erde, schon hinsichtlich der Schwere allein. Aber auch die anderweitige Beschaffenheit des Sonnenkörpers, so weit sie durch das Fernrohr hat erschlossen werden können, muß ganz andere Zustände bedingen.

6. **Sonnenflecken und Sonnenfackeln.** Betrachtet man die Sonne durch ein gutes Fernrohr, nachdem man zum Schutze der Augen ein dunkel gefärbtes Planglas vor das Okular gebracht hat, so sieht man die Sonnenscheibe selten in ganz gleichmäßigem Lichte glänzen. Gewöhnlich erscheint sie mit

einer sehr großen Zahl kleiner, sehr lichter Punkte oder Flämmchen auf weniger hellem Hintergrunde bedeckt, wodurch die ganze Fläche das Ansehen eines feinen Netzes erhält. Jene gewöhnlich mit dem Namen Granulation bezeichneten lichten Punkte sind meist länglich oval, Reiskörnern vergleichbar, und 1/4 bis 1/3'' breit und etwa doppelt so lang. In der Nähe von kleinen Flecken oder solchen, die sich schließen wollen, verlängern sie sich bedeutend und nehmen fast die Form von Weidenblättern an, deren Längsrichtung senkrecht zum Fleckenrande ist. Zuweilen sah *Secchi* in Rom sich solche Blätter von einander trennen, in die Mitte des Fleckes stürzen und dann, nachdem sie sich in röthliches Gewölk verwandelt hatten, verschwinden. Hiernach scheint die Sonnenoberfläche mit unzähligen Flämmchen übersäet, die das Bestreben zeigen, sich dahin zu bewegen, wo ihre Verbindung unterbrochen ist.

Zu den meisten Zeiten erscheinen in der Sonnenscheibe dunklere Stellen, die Sonnenflecken genannt werden. Sie zeigen oft merkwürdige Formen, wie aus der Zeichnung *Fig. 85* zu ersehen ist. Es stellt dieselbe Fleckengruppen dar, wie sie von einem sehr fleißigen Beobachter, *Pastorf*, am 24. Mai 1828 zu Frankfurt a. O. beobachtet worden sind, und mit deren Hilfe die folgende kurze Beschreibung der Flecken verständlicher sein wird.

Fig. 85.



Die Gestalt und Größe der Sonnenflecken ist einem beständigen Wechsel unterworfen, und es scheint eine stufenmäßige Entwicklung an ihnen unterschieden werden zu müssen. Zur Zeit der höchsten Ausbildung zeigen sie in ihrer Mitte einen größeren oder kleineren, scheinbar ganz schwarzen Fleck von selten rundlicher, gewöhnlich ganz unregelmäßiger, zackiger Form. Die eigentliche Farbe ist aber jedenfalls nicht schwarz, sondern rothbraun, und er strahlt noch so viel Licht aus, daß man im Spektroscop ein Spektrum von ihm erhalten kann. Gehen Merkur und Venus vor der Sonnenscheibe vorüber, so zeigen sich ihre Scheiben bedeutend dunkler als die scheinbar dunkelsten Kernflecken. Diese erscheinen meist mit einer schmaleren oder breiteren grauen Einfassung, dem sogenannten Hofe oder der Penumbra umgeben, in welcher sich gewöhnlich dunklere Punkte oder meist nach der Mitte des Kernflecks zulaufende dunklere Streifen befinden. Gewöhnlich schließt eine helle, durch ihren erhöhten Glanz von der übrigen Sonnenfläche sich etwas abhebende Einfassung das Ganze ein, und es läßt sich dies nicht ganz unpassend, wenn man namentlich die Formen abgerundet denkt, mit dem menschlichen Auge vergleichen, indem der schwarze Kern der Pupille, die graue Einfassung der Regenbogenhaut, und die hellere Umhüllung der durchsichtigen (weißen) Hornhaut verglichen werden kann.

Aber nicht immer haben, wie schon erwähnt, die Sonnenflecken die beschriebene Form; denn nicht selten fehlen die Kernflecken, und nur ein grauer Fleck, gewöhnlich ohne eine hellere Einfassung, stellt sich dem Beobachter dar.

Und diese Flecken sind die häufigsten; bisweilen zeigen sich auch, wie in der *Fig. 86* dargestellten Fleckengruppe, die ebenfalls von *Pastorf* an dem genannten Tage beobachtet wurde, viele kleine schwarze Flecken in einen solchen grauen Flecken eingestreut.

Fig. 86.



Hofrath *Schwabe* in Dessau, einer der fleißigsten Beobachter der Sonnenflecken, hat gefunden, daß bei der Bildung und dem Verschwinden der Flecken etwas Gesetzmäßiges sich erkennen lasse. Wenn nämlich in der Nähe eines schon vorhandenen Fleckens sich ein neuer bildet, so geschieht dies stets auf der östlichen, also auf der Seite desselben, die der Rotationsrichtung der Sonne entgegengesetzt ist, und wenn eine Gruppe von Flecken sich auflöset, so erfolgt die Auflösung zuerst bei den westlicher liegenden Flecken. Während diese sich verkleinern, nehmen die östlicheren oft noch an Größe zu. Endlich zeigen sich größere Flecken meist von vielen kleineren, sogenannten Punkten, begleitet, die in größter Zahl sich auf der östlichen Seite des großen Fleckes befinden. Dieselben Erfahrungen hat *C. H. F. Peters* bei Beobachtungen in den Jahren 1845 und 1846 gemacht.

Secchi in Rom glaubt zwei Arten von Flecken unterscheiden zu müssen, nämlich solche, deren Ursache dem eigentlichen Sonnenkörper selbst, und solche, die nur der denselben umhüllenden Photosphäre angehören.

Unter den Sonnenfackeln versteht man solche Stellen der Sonnenscheibe, die sich durch größeren Lichtglanz von der übrigen Lichtfläche abheben. Sie finden sich am häufigsten in der Nähe der Sonnenflecken und scheinen mit der Bildung dieser in engem Zusammenhange zu stehen. Sie stellen sich in verschiedener Gestalt und Größe dar; in der Mitte der Sonnenscheibe erscheinen sie gewöhnlich als geballtes Lichtgewölk, an den Rändern aber nehmen sie nicht selten eine aderförmige Gestalt an und werden dann auch Lichtadern genannt. Es ist nicht mehr daran zu zweifeln, daß sie leuchtende Massen sind, die um die Flecken aufgehäuft sind. Zwischen dem aderförmigen Lichtgewölk zeigen sich gewöhnlich mattere Stellen der Sonnenscheibe, welche stets ein schagrin-artiges Ansehen zeigen, und deren Anblick an grobkörnigen Sand erinnert. Man nennt sie Furchen; die in diesen zuweilen bemerkten außerordentlich kleinen, mattgrauen Punkte aber werden, ihrem Aussehen nach, mit dem Namen der Poren bezeichnet. Narben endlich werden die am häufigsten in der Mitte der Sonnenscheibe sich zeigenden, matter leuchtenden Stellen derselben genannt. Alle diese Formen zeigen oft mehr oder weniger plötzliche Aenderungen.

7. **Größe der Sonnenflecken.** Was die Größe der Sonnenflecken betrifft, so ist dieselbe eine sehr verschiedene; denn während die meisten nur in guten Fernröhren sichtbar sind, können andere bei nebeligem Wetter oder beim Auf- und Untergange der Sonne mit bloßen Augen leicht gesehen werden. So sah der ältere *Herschel* im Jahre 1779 einen Flecken, der einen Durchmesser von 70″ hatte. Dieser Flecken hing, wie es nicht selten beobachtet wird, mit

noch vielen andern eine Gruppe bildenden grauen und schwarzen Flecken zusammen, die im ganzen unter einem Winkel von 270″ erschienen. Wenn man nun bedenkt, daß von der Erde aus eine Länge von 100 Mln. auf der Sonne unter einem Winkel von 1″ erscheint, so bekommt man eine Vorstellung von der ungeheuren Größe solcher Flecken. So hatte der obige einen Durchmesser von nicht weniger als 27000 geogr. Mln., oder er war ungefähr 15mal so groß als der Durchmesser der Erde, und seine Oberfläche betrug nicht weniger als 730 mill. Quadratmeilen. *Tobias Mayer* sah am 15. März 1758 einen andern Flecken von 90″ oder 9000 Mln. Durchmesser, und der größte der in *Fig. 85* dargestellten Flecken erschien unter einem Winkel von 100″, was einen Durchmesser von 10000 geogr. Mln. voraussetzt. Am 5. Septbr. 1850 sah *Schwabe* in Dessau einen Flecken, der unter einem Winkel von 302″ erschien, also einen Durchmesser von 30200 Mln. hatte und den Durchmesser der Erde um das 18-, die Oberfläche um das 77fache übertraf.

8. **Dauer der Sonnenflecken.** Wie die Größe, ist auch die Dauer der Sonnenflecken sehr verschieden; denn während einige oft in kurzer Zeit entstehen und ebenso rasch verschwinden, so daß ihre Formänderung fast unmittelbar im Fernrohre beobachtet werden kann, zeigen andere eine große Beständigkeit und lassen sich oft noch nach mehreren Monaten als dieselben Flecken wiedererkennen. So blieb der große Fleck von 1779 während 6 Monate sichtbar, und *Schwabe* konnte einen 1840 erschienenen Flecken während 8, und eine Fleckengruppe im Jahre 1861 selbst während 18 Umläufe um die Sonne verfolgen und beobachten; allein geringere Veränderungen gehen auch mit diesen beständigeren Flecken unausgesetzt vor sich.

Es müssen überhaupt auf der uns sichtbaren Lichtoberfläche oder Photosphäre der Sonne ungeheure Veränderungen sich ereignen, und von der Größe derselben kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man erwägt, daß, wenn ein Flecken, wie der von *Herschel* beobachtete, in 3 Wochen sich schließen sollte, wie es doch geschieht, jeder Punkt der Lichtsphäre in 1 Sek. einen Weg von 58 Mln. machen müßte. Und dies sind noch nicht die größten Geschwindigkeiten; denn jener von *Schwabe* am 5. Septbr. 1850 gesehene Flecken hatte sich in einem Tage von 93″ bis auf 302″, also um 20900 Mln. vergrößert.

Außer der absoluten Veränderlichkeit der Form der Sonnenflecken bemerkt man aber auch eine perspektivische. Es verharren nämlich die Flecken nicht an derselben Stelle der Sonnenscheibe, sondern alle bewegen sich ziemlich gleichmäßig vom östlichen zum westlichen Sonnenrande. Zeigen sie hierbei in der Mitte eine mehr rundliche Form, so wird diese nach den Rändern zu in eine längliche verwandelt, wie es geschehen muß, wenn die Sonne eine Kugel ist. Je mehr sich ein großer Flecken dem Sonnenrande nähert, desto breiter erscheint ferner die dem Rande nächste graue Einfassung (Penumbra) des Kernflecks, während die dem Beobachter zugekehrte Seite derselben mehr und mehr an Breite abnimmt. Zugleich wird auch der Kernfleck

schmaler, bis er endlich, von dem vorderen Rande verdeckt, mit diesem zugleich verschwindet. Dieser Anblick ist nur möglich, wenn die Sonnenflecken kraterähnliche Vertiefungen in der Photosphäre der Sonne sind, und also der Kernfleck dem Mittelpunkte derselben näher liegt als die graue Einfassung oder der Hof. *Faye* in Paris hat diese Vertiefungen gemessen und sie zu 1000 bis 2000 Mln. gefunden. Prof. *Spoerer* in Anklam, dem wir ebenfalls wichtigen Aufschluß über die Sonnenflecken verdanken, glaubt nicht Vertiefungen annehmen zu müssen, sondern hält sie für dunkle Massen oberhalb heller Flächen, und den sogenannten Hof für eine Zusammendrängung sehr kleiner Flecken, welche jene hellen Flächen durchscheinen lassen.

9. **Zone der Sonnenflecken.** Die Sonnenflecken zeigen sich nicht in allen Theilen der Sonnenscheibe. Sehr selten erscheinen sie in der Nähe des Sonnen-Aequators, in einer Zone, die von 3° nördlich bis zu 3° südlich vom Aequator sich erstreckt. Am häufigsten sind sie zwischen 11° und 15° nördlich vom Aequator; seltener werden sie in derselben Gegend der südlichen Halbkugel gesehen. Vereinzelt kommem sie indessen noch bis 40° vom Aequator vor; als seltene Ausnahmen aber sind einzelne von *Schwabe* in 50° und ein von *La Hire* unter 70° nördl. Breite beobachteter Flecken zu betrachten.

10. **Vermuthete Periode der Sonnenflecken.** Mehr denn 30 Jahre lang fortgesetzte, sorgfältige Beobachtungen der Sonnenflecken durch *Schwabe* haben diesem Beobachter die Ueberzeugung verschafft, daß, wenigstens in den Jahren von 1826 bis 1850, Periodicität in dem Erscheinen der Sonnenflecken bestehe. Die Maxima der Flecken fielen in die Jahre 1828, 1837 und 1848, die Minima in die Jahre 1833 und 1843, wonach also eine Periode von etwa 10 Jahren bestehen würde. *Wolff* in Zürich hat mit Benutzung früherer Beobachtungen eine Periode von 11 1/9 Jahr berechnet, so daß jedes Jahrhundert gerade 9 Perioden umfaßte. Während in den Jahren des Maximums:

1828	an	282	Beobachtungstagen	225	Fleckengruppen	bei	0	fleckenfreien	Tagen
1837	»	168	»	333	»	»	0	»	»
1848	»	278	»	330	»	»	0	»	»
1859	»	343	»	205	»	»	0	»	»

beobachtet wurden, erschienen in den Jahren des Minimums:

1833	an	267	Beobachtungstagen	nur	33	Fleckengruppen	bei	139	fleckenfr.	Tagen
1843	»	324	»	»	34	»	»	149	»	»

Zugleich wurden große, mit bloßen Augen sichtbare Sonnenflecken von wenigstens 50″ Durchmesser fast nur in den Jahren gesehen, in denen das Minimum nicht stattfand. Außerdem glaubt *Schwabe* wahrgenommen zu haben, daß die Sonnenflecken insofern von Einfluß auf das Wetter waren, als die fleckenreichen Jahre weniger heitere Tage zählten als die fleckenarmen.

Die Zukunft wird indessen noch darüber zu entscheiden haben, ob dieser Einfluß, oder welcher andere, auf das Wetter wirklich vorhanden ist. Gewiß aber und durch Beobachtungen dargethan ist, daß die fleckenreichen Theile der Sonnenscheibe weniger Wärme ausstrahlen oder entwickeln als die fleckenlosen.

Bemerkenswerth aber ist der Umstand, daß, wie *Sabine*, *Gautier* und *Wolff* 1852 unabhängig von einander gefunden, die Sonnenfleckenperiode mit derjenigen zusammenfällt, die für die magnetischen Variationen aufgefunden worden ist; Maximum und Minimum der Flecken fällt auch mit dem Maximum und Minimum jener Variationen zusammen, und zwar nicht nur für die neuste Zeit, sondern, wie *Wolff* nachgewiesen hat, auch für frühere Zeiten.

11. **Die Sonnenflecken, ein Mittel zur Bestimmung der Rotationszeit der Sonne.** Wir erwähnten bereits, daß die Sonnenflecken nicht an derselben Stelle der Sonnenscheibe verharren, sondern daß sie ziemlich gleichmäßig von O. nach W. über dieselbe hinwegrücken, und zwar geschieht dies in etwas mehr denn 13 Tagen. Ebenso lange bleiben die Flecken auf der uns abgekehrten Hälfte der Sonne unsichtbar, und erst nach etwa 27 Tagen nehmen sie wieder dieselbe Stellung zur Sonnenscheibe ein. Aus dieser regelmäßigen Bewegung der Flecken hat man mit Recht auf eine Rotation der Sonne geschlossen, und diese ist nach *Laugiers* zuverlässigen Beobachtungen zu 25,34 Tagen = 25 Tg. 8 Stdn. 9 Min. berechnet worden.

Wenn nämlich die Erde ihren Ort während einer Rotation der Sonne nicht veränderte, so würde die Zeit, in welcher die Flecken wieder dieselbe Stellung auf der Sonnenscheibe einnehmen, auch gleich der Rotationszeit der Sonne sein. In 27 Tagen legt aber die Erde ungefähr 27° in ihrer Bahn zurück, und darum muß ein Sonnenfleck, um wieder an derselben Stelle zu erscheinen, mehr denn 360°, nämlich etwa 387° zurücklegen. Hieraus läßt sich aber durch eine einfache Proportion die Rotationszeit der Sonne leicht berechnen. Es verhalten sich nämlich:

$$387^0 : 360^0 = 27 \text{ Tg.} : x \text{ Tg.},$$

woraus x sich gleich 25,12 Tagen ergiebt. Dies ist freilich nur ein ungefährer Werth; der oben angegebene ist genauer. Uebrigens bleibt die Rotationszeit immer noch etwas ungenau, indem die Flecken auch eine eigene Bewegung besitzen, deren Größe sich nur sehr schwer genau ermitteln läßt.

Merkwürdig ist jedenfalls die Erfahrung, die von verschiedenen Beobachtern der Sonne gemacht worden ist, daß Flecken in der Nähe des Sonnenäquators eine kürzere Rotationszeit ergaben, als solche in größeren Breiten. Die vollständigsten Beobachtungen in dieser Beziehung hat Prof. *Spoerer* im Jahre 1861 an Flecken angestellt, die längere Zeit, oft mehrere Rotationsperioden hindurch, beobachtet werden konnten; er fand für Flecken in verschiedenen heliocentrischen Breiten folgende Resultate:

Nördl. heliocentr. Br.	Rotationszeit.	Südl. heliocentr. Br.	Rotationszeit.
1° 33′	24,541 Tg.	4° 47′	25,113 Tg.
6 51	25,214 »	12 27	25,374 »
10 53	25,559 »	12 46	25,520 »
14 4	25,621 »	15 24	25,770 »
18 4	25,906 »	16 15	26,000 »
24 21	26,120 »	30 20	26,216 »

Ein Flecken in 51° nördl. Br., der 1846 von *C. H. F. Peters* beobachtet wurde, giebt eine Rotationszeit von $28^1/_4$ Tg.

Dies sind jedenfalls merkwürdige Resultate, aus denen hervorgeht, daß die Ungewißheit der Rotationszeit der Sonne etwa 4 Tage beträgt. Welches ist die Ursache der verschiedenen Rotationsgeschwindigkeit der Flecken? Prof. *Spoerer* ist geneigt, Strömungen in der Sonnenatmosphäre anzunehmen, und zwar in der Nähe des Aequators, etwa bis zu 5° nördlich und südlich, im Sinne der Rotation, von 13° nördlich und südlich an in entgegengesetzter Richtung, und endlich zwischen 5° und 13° abwechselnd in der einen oder der andern Richtung. *C. H. F. Peters* glaubt die Erscheinung durch Strömungen anderer Art erklären zu können, nimmt aber ebenfalls Strömungen als wahrscheinlich an, und daß dergleichen in der Sonnenatmosphäre vorhanden sein müssen, geht wohl daraus hervor, daß, wie *Secchi* nachgewiesen hat, die Aequatorialgegenden der Sonne die heißesten sind und nach den Polen zu eine Wärmeabnahme stattfindet, wie auf der Erde.

12. **Weg der Sonnenflecken über die Sonnenscheibe.** Beachtet man den Weg, den die Sonnenflecken über die Sonnenscheibe zurücklegen, so findet man denselben nicht immer von derselben Form. Zweimal im Jahre, am 9. Juni und am 9. December, erscheint derselbe als gerade Linie, in den Zwischenzeiten aber als eine Curve, die vom 10. Juni bis zum 10. December ihre convexe, vom 10. December bis zum 10. Juni hingegen ihre concave Seite nach oben kehrt. Die Maxima der Abweichung von der geraden Linie werden Anfang September und Anfang März beobachtet.

Aus dieser Form der Bahn der Sonnenflecken lassen sich Schlüsse über die Lage der Achse der Sonne und ihres gräßten Kreises, des Sonnen-Aequators, ziehen. Erscheint an den beiden oben genannten Tagen die Bahn der Flecken und der Sonnen-Aequator als gerade Linie, so befindet sich die Erde in der Ebene des letzteren; denn nur dann kann dieser Kreis als gerade Linie sich zeigen. Unsere nach dem Mittelpunkte der Sonne gehenden Gesichtslinien sind alsdann senkrecht auf der Sonnenachse, und weder der Nord- noch der Südpol der Sonne neigen sich der Erde zu. Die Sonne hat dann eine Stellung zur Erde, wie diese am 21. März und am 23. September zur Sonne. Die Erde befindet sich am 10. Juni und am 10. December in denjenigen Punkten, in welchen die erweitert gedachte Ebene des Sonnen-Aequators die Ebene der Ekliptik schneidet, d. h. sie steht in den Knoten des Sonnen-Aequators.

Kehren vom 10. Juni bis zum 10. December die Curven ihre convexe Seite nach oben, so steht die Erde unterhalb der Ebene des Sonnen-Aequators, und zwar am Anfange September am südlichsten, nämlich etwa $7^1/_2{}^0$. Zu dieser Zeit muß eine nach dem Sonnenmittelpunkte gehende Gesichtslinie mit der Sonnenachse einen Neigungswinkel von $90^0 - 7^1/_2{}^0 = 82^1/_2{}^0$ bilden, also der Südpol der Sonne sich der Erde $7^1/_2{}^0$ zu-, der Nordpol ebenso weit abwenden.

Ist vom 10. December bis zum 10. Juni die concave Seite der Curve nach

oben gerichtet, so steht die Erde über der Ebene des Sonnen-Aequators, und zwar am Anfang März am höchsten, nämlich $7^1/_2{}^0$; alsdann muß sich der Nordpol der Sonne $7^1/_2{}^0$ zur Erde hinneigen. Zur Zeit dieser größten Neigung weiset der Nordpol der Sonne nach einem Punkte der Ekliptik, der 168° Länge hat, also nach dem 18. Grade des Zeichens der Jungfrau, der Südpol mithin nach dem entgegengesetzten Punkte der Ekliptik oder nach einem Punkte, der 348° Länge hat, und dies ist der 18. Grad des Zeichens der Fische. Von diesen Punkten müssen die Knoten des Sonnen-Aequators 90° abweichen. Der aufsteigende Knoten hat demnach eine Länge von 78°, oder er liegt im 18. Grade der Zwillinge, der absteigende Knoten eine Länge von 258°, oder er befindet sich im 18. Grade des Schützen. Nach *Laugier* soll die Neigung des Sonnen-Aequators zur Ebene der Ekliptik nur 7° 9′ betragen.

13. **Zeit der Entdeckung der Sonnenflecken.** Die Entdeckung der Sonnenflecken gehört einer ziemlich späten Zeit, der Zeit des telescopischen Sehens an. Zwar sind ältere Nachrichten vorhanden, die von auffallender Verdunkelung der Sonne reden; es geht indessen aus ihnen nicht mit Bestimmtheit hervor, ob diese Verdunkelungen durch Sonnenflecken oder durch andere Ursachen hervorgerufen worden sind.

Johann Fabricius aus Ost-Friesland ist wahrscheinlich der erste gewesen, der die Sonnenflecken gesehen und beobachtet hat; wenigstens hat er über dieselben 1611 das erste Werk herausgegeben. Er erzählt in diesem Werke, betitelt: »*De maculis in sole observatis*«, daß er eines Morgens einen schwarzen, auf der einen Seite grauen Flecken in der Sonne bemerkt habe, den er anfangs für eine Wolke gehalten. Allein zu seiner Freude habe er denselben am nächsten Morgen wiedergefunden. Um ihn auch den Tag über beobachten zu können, ließ er das Bild der Sonne durch eine Oeffnung des Fensterladens auf eine weiße Tafel fallen*) und bemerkte nun die ost-westliche Bewegung der Flecken, zugleich aber auch zu seinem Erstaunen die Veränderlichkeit der Gestalt, sowie das gänzliche Verschwinden mancher Flecken in der Mitte der Sonnenscheibe. Er gewann aber durch seine Beobachtungen die Gewißheit, daß die Flecken der Sonne selbst angehörig seien, und schloß aus der Bewegung derselben, daß sich die Sonne von W. nach O. um ihre Achse drehen müsse.

Fast gleichzeitig mit *Fabricius* entdeckte auch *Galilei* im Anfange des Jahres 1611 die Sonnenflecken, und stellte darüber Ansichten auf, die mit den bisher herrschend gewesenen in vieler Beziehung übereinstimmen. Die fleißige Beobachtung der Sonne ohne Blendgläser hat übrigens viel zu seiner späteren Erblindung beigetragen.

Mit *Galilei* gerieth *Scheiner*, Professor zu Ingolstadt, in Streit, wer von beiden die Flecken zuerst gesehen habe. *Scheiner* will sie nämlich ebenfalls

*) Der Gebrauch der farbigen Blendgläser in Fernröhren war damals noch nicht bekannt.

bereits anfangs März des Jahres 1611 vor *Galilei* wahrgenommen und seinen Studenten gezeigt haben. Sein Werk erschien indessen erst 1612.

Seit ihrer Entdeckung sind die Sonnenflecken Gegenstand der fleißigsten Beobachtungen gewesen, und wir haben die wichtigsten Resultate derselben in dem Vorstehenden ziemlich ausführlich mitgetheilt, weil man nur auf Grund derselben zu einem Urtheil über die wahrscheinliche physische Beschaffenheit der Sonne gelangen kann. Da aber dieses Urtheil noch von einigen anderen Erfahrungen, namentlich von den Erscheinungen in der den eigentlichen Sonnenkörper umschließenden Sonnenatmosphäre von Wichtigkeit sind, so verweilen wir, ehe wir zu den Hypothesen über die wahrscheinliche Beschaffenheit der Sonne übergehen, noch etwas bei den Beobachtungen.

14. **Verschiedene Licht- und Wärme-Intensität der Sonne.** Wir deuteten oben schon an, daß *Secchi* in Rom nachgewiesen hat, daß die von der Sonne ausgestrahlte Wärme am Aequator am größten ist und von hier nach den Polen hin abnimmt. Aber auch die Lichtintensität der verschiedenen Punkte der Sonnenscheibe ist nicht überall die gleiche. *Chacornac* hat, um zu bestimmten Resultaten zu kommen, die Sonnenscheibe planmäßig untersucht und gefunden, daß die Mitte derselben heller leuchtet als die Ränder. Daß dies so ist, zeigt schon ein Sonnenbild, das man auf einen hellen Schirm fallen läßt; man findet dann die Mitte des Bildes bedeutend heller leuchtend als die Ränder. Nach *Chacornac* ist die Lichtintensität der um das Centrum der Sonnenscheibe liegenden Gegenden, etwa bis zu $^3/_{10}$ des Sonnenradius, ziemlich gleichleuchtend; dann nimmt aber das Licht merklich ab und ist am Rande nur noch etwa die Hälfte des in der Mitte. Es müssen also in der Umhüllung der Sonne, wie in der irdischen Atmosphäre, Stoffe schweben, welche das Licht schwächen, und *Janssen* und *Lockyer* sind geneigt, die die sogenannten Protuberanzen (s. später) hervorrufende Wasserstoffschicht, welche die Photosphäre der Sonne in einer Höhe von 1600—1800 Mln. rings umgiebt, als die Hauptursache dieser Schwächung anzusehen.

15. **Die Sonnenumhüllung bei totalen Sonnenfinsternissen.** Schon früher ist mehrseitig bemerkt worden, daß bei totalen Sonnenfinsternissen in dem Momente, wenn die dunkle Mondscheibe die letzten Strahlen der Sonne verdeckt, um den Mond ein glänzender Ring wie ein Glorienschein sich zeigt, der einen herrlichen Anblick gewährt. Allein diese Erscheinung, die gegenwärtig gewöhnlich die Corona genannt wird, ist erst seit der totalen Finsternis am 8. Juli 1842 einer eingehenden Beobachtung unterworfen worden. Jede folgende Finsternis, wie die am 28. Juli 1851, am 18. Juli 1860 und 18. August 1868, hat neue Aufschlüsse über die interessante Erscheinung gebracht, und fast alle Astronomen der Erde haben dem Gegenstande ihr lebhaftes Interesse zugewendet.

Die schon genannte Corona umsäumt während der totalen Finsternis den dunklen Mond als ein glänzender Ring von ziemlich beträchtlicher Breite und erscheint gewöhnlich in weißem, doch je nach dem Zustande der irdischen

Atmosphäre, auch zuweilen in gelblichem und selbst röthlichem Lichte. An verschiedenen Stellen fahren Strahlen durch die Corona, die meist nach dem Mittelpunkte der Sonne convergiren, doch zuweilen auch sehr merklich von dieser Richtung abweichen und an den oberen Enden nicht selten hakenförmig eingebogen sind. Was die Helligkeit der Corona betrifft, so nimmt dieselbe nach der Sonne hin bedeutend zu, während sie sich nach außen hin allmählich verliert. Noch merkwürdiger und interessanter aber sind eigenthümliche, meist in lebhaft rothem Lichte glänzende Gebilde, die im Momente der Totalität gewöhnlich zuerst am östlichen Mondrande, doch auch an anderen Stellen erscheinen, und die dunkle Mondscheibe auf längere oder kürzere Strecken sichelartig umsäumen, am oberen Rande meist zackige Umrisse zeigen und einem fernen Gebirge gleichen, das, wie die Alpen beim Alpenglühen, in lebhaft rothem Glanze sich zeigt. Die nebenstehende *Fig. 87* soll eine schwache Vorstellung davon geben. Gewöhnlich sind mehrere solcher Gebilde, die man Protuberanzen nennt, sichtbar. Je mehr der Mond von West nach Ost vorrückt, desto schmaler werden dieselben am östlichen Mondrande; dafür werden aber ähnliche Bildungen am nachrückenden westlichen Rande sichtbar. Außer den bisher beschriebenen Gebilden, die auf dem dunklen Mondrande zu ruhen scheinen, sind wiederholt auch freischwebende, wolkenähnliche Massen gesehen worden, die, in schön rosenfarbigem Lichte erglänzend, in der Corona frei schwebten und, wie nicht selten auch die Protuberanzen, eine faserige Struktur zeigten. Was die Höhen der Protuberanzen betrifft, so erschienen sie unter Winkeln von 2—2½′, was einer Höhe von 12—15000 geogr. Mln. über dem Sonnenrande gleichkommt. Unter noch bedeutenderen Winkeln zeigten sich mehrfach flammenähnliche Gebilde, wie sie *Fig. 88* zeigt, deren oberes Ende, nachdem es zuvor senkrecht emporgestiegen, in der der Rotationsrichtung der Sonne entgegengesetzten Richtung hakenförmig umgebogen erschien, wie wenn heftige Luftströmungen Flammenbüschel seitlich abgelenkt hätten. Sehr schön zeigte sich diese Erscheinung bei den totalen Finsternissen am 28. Juli 1851 und am 18. Aug. 1868, bei welcher letzteren die Höhe der Hervorragung fast $^1/_{14}$ des Sonnendurchmessers, also über 13000 geogr. Meilen betrug.

Fig. 87.

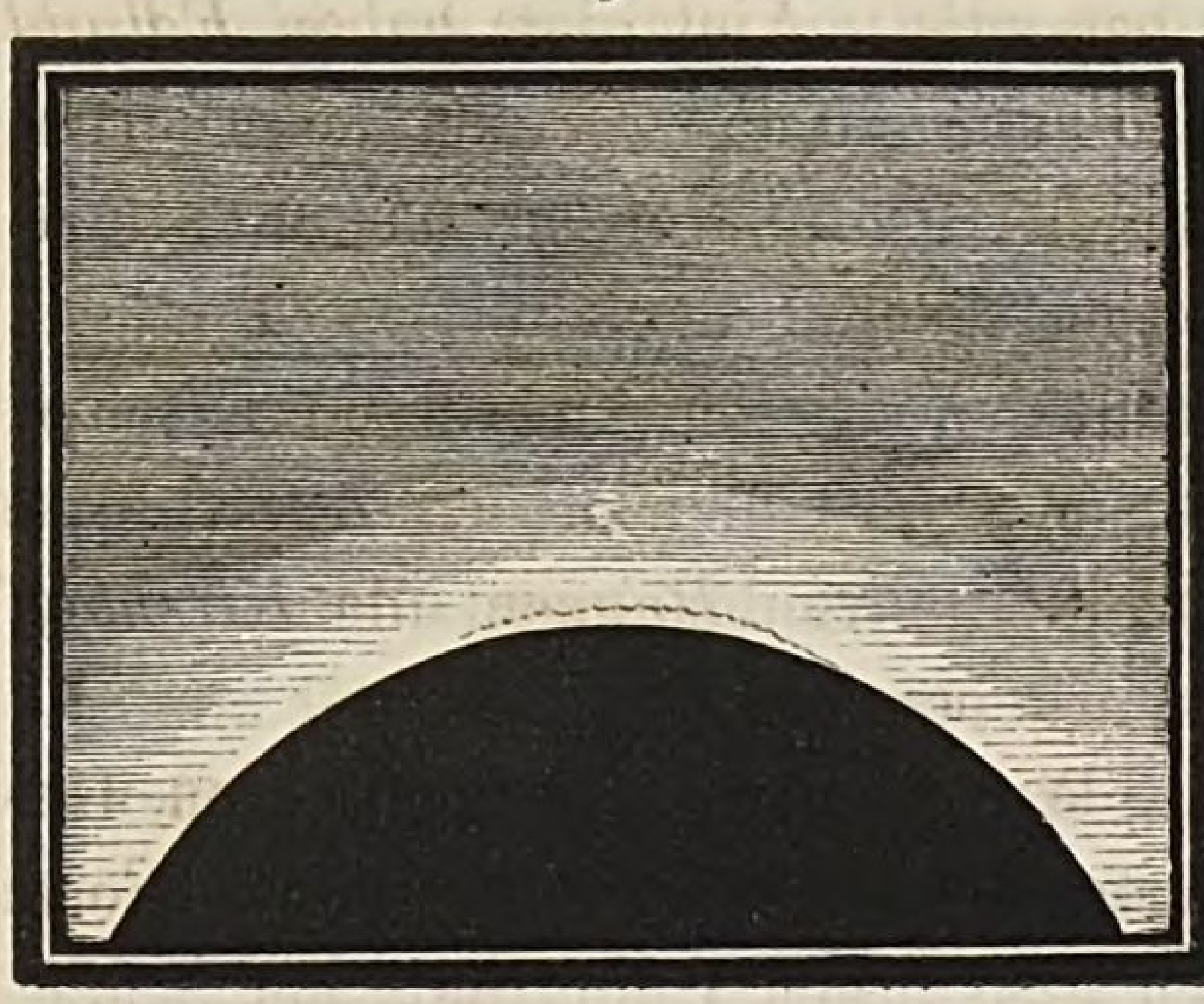


Fig. 88.



Nach den ersten Beobachtungen der Protuberanzen war man ungewiß darüber, ob dieselben der Sonne angehörten, oder vielleicht nur Erscheinungen seien, die durch Beugung des Lichtes an dem zackigen Mondrande hervorgebracht würden, bis man durch die Finsternis am 18. Juli 1860, zu deren Beobachtung viele Astronomen nach Spanien gereist waren, zu der Ueberzeugung kam, daß sie der Sonne angehören müßten. Denn Prof. *Bruhns* in Leipzig bemerkte zu Tarragona eine Protuberanz am oberen Mondrande bereits 2 Minuten vor Anfang der Totalität und sah sie auch noch längere Zeit nach derselben, im ganzen 12 Minuten lang, ohne daß sie merklich ihre Position veränderte, was hätte geschehen müssen, wenn der sich bewegende Mond die Veranlassung derselben gewesen wäre. — Noch mag bemerkt werden, daß die Protuberanzen, und namentlich die Flammenbüschel, sich an solchen Stellen des Sonnenrandes gezeigt haben, wo kurz vor und nach der Finsternis in der Nähe des Sonnenrandes sich Flecken und Fackeln befanden. Außerdem haben *Edlund* 1851 und *Prazmowsky* 1860 gefunden, daß das Licht der Corona polarisirtes, also reflektirtes Licht ist, während das der Protuberanzen nicht polarisirt ist, und daher von selbstleuchtenden Gasen erzeugt sein dürfte.

Hören wir nach diesen wichtigsten Resultaten der merkwürdigen Erscheinungen mittelst des Fernrohrs schließlich noch, welche neuen Aufschlüsse eine der wichtigsten Entdeckungen der Neuzeit, die von *Bunsen* und *Kirchhoff* in Heidelberg bewirkte Spektralanalyse, ergeben hat.

16. **Spektralanalyse der Sonne.** Wir wollen versuchen, den Gedankengang dieser beiden deutschen Gelehrten in möglichst populärer Form zum Verständnis zu bringen.

Wohl jedem Laien ist bekannt, daß, wenn man einen Gegenstand durch ein eckig geschliffenes Glas betrachtet, sich um das Bild desselben farbige Ränder bilden. Läßt man ferner durch eine kleine runde Oeffnung in einem gut schließenden Fensterladen einen Büschel Sonnenlichtes in das finstere Zimmer fallen und dann durch die Kante eines sogenannten Prismas gehen, so wird das zuvor weiße Sonnenlicht gebrochen und in die bekannten 7 Regenbogenfarben: roth, orange, gelb, grün, hellblau, dunkelblau und violett, aufgelöset; zugleich erscheint das ursprünglich runde Sonnenbild auf einem jener Oeffnung gegenüberliegenden weißen Schirm lang gezogen und in den genannten 7 Farben erglänzend. Dieses interessante farbige Sonnenbild heißt das Sonnenspektrum. Schon der Engländer *Wollaston* entdeckte 1802 in diesem Spektrum zwei dunkle Querlinien, die rechtwinklig zur Längsrichtung desselben waren. Der berühmte Optiker *Fraunhofer* in München entdeckte später mit Hilfe wesentlich verbesserter Instrumente gegen 600 solcher immer an derselben Stelle des Spektrums und in gleicher Gruppirung sich zeigenden Querlinien, die jetzt allgemein als *Fraunhofer*sche Linien bekannt sind. Die wichtigsten derselben pflegen mit den Buchstaben *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H* bezeichnet zu werden. In der neuesten Zeit ist es gelungen, mit noch mehr verbesserten Hilfsmitteln gegen 3000 solcher Linien zu unterscheiden. Auch die beiden oben genannten Ge-

lehrten machten das Sonnenspektrum zum Gegenstande ihres Studiums, suchten aber auch Spektra aus andern Lichtquellen darzustellen, um etwanige Verschiedenheiten von dem Sonnenspektrum festzustellen. Da zeigte sich denn, wenn man das Licht eines etwa in Knallgas (2 Theile Wasserstoff- und 1 Theil Sauerstoffgas) zur Weißglühhitze gebrachten festen oder auch geschmolzenen Körpers, wie Platin, Eisen, Kalk etc., durch die brechende Kante des Prismas gehen ließ, daß zwar auch ein Spektrum mit den bekannten 7 Farben erschien, aber die beim Sonnenspektrum vorhandenen *Fraunhofer*schen Linien fehlten; es war also kein durch diese Linien unterbrochenes, sondern ein sogenanntes continuirliches Spektrum entstanden. Anders stellte sich die Sache heraus, wenn man als Lichtquelle die in einer Flamme verbrennenden gasförmigen Dämpfe verschiedener Stoffe benutzte; es zeigten sich dann in dem freilich matteren Spektrum hellere Querlinien, die für jeden Stoff eine bestimmte Farbe, Lage, Breite und Gruppirung zeigten, aber für denselben Stoff immer dieselben Linien. Verbrennt man z. B. Kochsalz in einer Spiritusflamme, so zeigen sich stets zwei gelbe, nahe beieinanderliegende Linien, vom Natrium des Kochsalzes erzeugt. Strontiansalz zeigt mehrere Linien, vornehmlich rothe und einige andere schwächere von andern Farben. Läßt man Kochsalz und Strontiansalz zugleich verbrennen, so erscheinen die den beiden Stoffen eigenen Linien zusammen, aber an ihren früheren Stellen und in den früheren Farben. Kupferdämpfe erzeugen eine große Anzahl hellerer Linien in den verschiedensten Farben, und Eisendämpfe rufen wohl gegen 60 Linien hervor. Selbst erstaunlich kleine Quantitäten von Stoffen verrathen sich durch die von ihnen im Spektrum erzeugten Linien; so macht Kochsalz seine Anwesenheit noch bei 3 Zehnmillionsteln eines Milligramms durch seine gelben Linien bemerkbar.

Verbindet man nun die beiden Arten der bis jetzt angenommenen Lichtquellen, indem man z. B. das Licht eines glühenden oder geschmolzenen Körpers, dessen Licht allein ein continuirliches Spektrum giebt, vor dem Durchgang durch das Prisma durch das Licht eines gasförmigen Körpers gehen läßt, der für sich allein helle farbige Linien giebt: so werden merkwürdigerweise diese Linien in dunkele verwandelt, die bei dem nunmehrigen Zutritt von Sonnenlicht als ganz schwarze Linien sich darstellen, wie sie auch das bloße Sonnenspektrum zeigt. Welche Schlüsse lassen sich auf diese merkwürdigen Thatsachen bauen? *Bunsen* und *Kirchhoff* behaupten: Die Sonne kann nicht, wie *Herschel* angenommen, ein dunkler Körper sein, sondern muß, wenn nicht mehr feuer-flüssig oder in geschmolzenem Zustande, doch wenigstens noch in glühendem Zustande sich befinden, und wäre es möglich, von diesem glühenden Körper direkt, ohne daß sein Licht zuvor durch die Umhüllung der Sonne ginge, ein Spektrum zu erzeugen, so würde es ein continuirliches sein. Wäre es ferner möglich, von der Umhüllung der Sonne allein ein Spektrum zu erhalten, so müßte es, weil in derselben wegen der großen Hitze des eigentlichen Sonnenkörpers sich Stoffe, die auf unserer bereits abgekühlten Erde meist

nur fest erscheinen, in Dampfform befinden müssen, ein Spektrum mit hellen Linien werden. Diese Linien erscheinen in dem wirklichen Sonnenspektrum nur darum schwarz, weil das Licht des eigentlichen Sonnenkörpers, ehe es durch den Aether zu uns fortgepflanzt wird, durch jene gasförmigen Dämpfe gehen muß. Denn sowie zwei Schallwellen, die von zwei verschiedenen Tonquellen ausgehen, sich gegenseitig aufheben, so daß man keinen Ton hört, so können sich auch zwei von verschiedenen Lichtquellen ausgehende Lichtwellen gegenseitig aufheben und auslöschen. Dies ist mit gewissen von dem eigentlichen Sonnenkörper ausgehenden und andern von den in der Sonnen-Atmosphäre verbrennenden Gasen ausgehenden Lichtwellen der Fall; darum zeigt das Sonnenspektrum schwarze Linien. Aus Vergleichung der dunklen *Fraunhofer*schen Linien im Sonnenspektrum mit den in andern Spektren beobachteten hellen Linien läßt sich auf die Stoffe schließen, die in der Sonnenatmosphäre in Gasform schweben, und es haben sich bereits viele unserer irdischen Stoffe, namentlich Metalle, darin nachweisen lassen. Nach Prof. *Angströms* neuesten Untersuchungen beweisen die Anwesenheit von: Eisen 450, Titan 118, Calcium 75, Mangan 57, Nickel 33, Kobalt 19, Chrom 18, Barium 11, Natrium 9, Kupfer 7, Zink und Allumium je 2 Linien. So viele der dunklen Linien im Sonnenspektrum fallen sicher mit hellen Linien der Spektra der genannten Stoffe in Gasform zusammen. Indessen sind die Linien für: Arsen, Antimon, Blei, Lithium, Silicium, Strontian, Silber, Gold, Zinn etc. noch nicht nachgewiesen worden; doch können die Untersuchungen noch lange nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Mit dieser herrlichen Entdeckung ist den Astronomen und Physikern ein weites Feld für neue Forschungen geöffnet, und es ist bereits gelungen, einige neue Elemente auf diesem Wege zu entdecken.

In dem Vorstehenden haben wir im wesentlichen die Ansichten *Bunsens* und *Kirchhoffs* dargelegt, die aber so lange als eine unerwiesene Hypothese betrachtet werden mußten, als es nicht gelungen war, in einem Spektrum, das nur durch das Licht der Atmosphäre der Sonne gewonnen worden, helle Linien nachzuweisen. Die Gelegenheit dazu bot die am 18. August 1868 in Südasien sichtbare totale Sonnenfinsternis, und deshalb beeilten sich die verschiedenen Völker Europas, ihre Vertreter, mit den besten Instrumenten zur Beobachtung und photographischen Aufnahme der Sonne ausgerüstet, nach günstigen Orten für die Beobachtung abzusenden. Deutsche Astronomen und Physiker haben in Aden, englische und französische in Indien beobachtet, und es ist gelungen, obgleich das Wetter den Beobachtungen im allgemeinen nicht besonders günstig war, werthvolle Photographien von den Protuberanzen zu gewinnen, und zugleich spektrische Untersuchungen derselben anzustellen. In letzterer Beziehung sind besonders die Versuche *Janssens* aus Paris, der in Vorderindien beobachtete, mit gutem Erfolge gekrönt worden. Er untersuchte mehrere Protuberanzen und fand namentlich zwei helle Linien in dem Spektrum derselben, wie es nach der *Kirchhoff*schen Theorie sein mußte. Diese Linien stimmten mit den *Fraunhofer*schen Linien C und F, den Linien

des Wasserstoffes, zusammen, und auch andere Beobachter haben diese Thatsache, namentlich die helle Linie bei *C*, als richtig bestätigt. Auch die gelbe Linie bei *D*, D_3, fällt nach Dr. *Tietjens* genauen Beobachtungen mit einer feinen dunklen Linie im Sonnenspectrum zusammen. Hiernach ist kaum zu zweifeln, daß der wesentlichste Bestandtheil der Protuberanzen der leichte, verbrennende Wasserstoff ist, der überhaupt auf der Sonne eine sehr weite Verbreitung hat. Er scheint das Material für das der Sonne gegenwärtig noch fehlende Wasser zu sein, das sie aber einmal erhalten wird, wenn sie sich in genügendem Grade abgekühlt haben wird. Wasserdampf scheint sie jetzt schon zu besitzen, da *Secchi* die demselben charakteristischen Linien bereits in den Höfen der größeren Flecken und den diesen häufig folgenden kleineren Flecken wiederholt gesehen hat.

Für die fernere spektrische Untersuchung der Umhüllung der Sonne ist *Janssens* Entdeckung wichtig, daß man die Protuberanzen nicht nur bei totalen Sonnenfinsternissen, sondern zu jeder Zeit beobachten und spektrisch untersuchen kann, eine Entdeckung, die schon einige Zeit vor ihm der Engländer *Lockyer* gemacht hatte, der sie am 26. Octbr. 1868 der Pariser Akademie mittheilte. Seitdem wird der Sonnenrand fleißig beobachtet, namentlich vom Pater *Secchi* in Rom, und es ist dadurch constatirt worden, daß *Kirchhoffs* Theorie im allgemeinen als richtig anerkannt werden muß, wenngleich es noch fraglich ist, wo eigentlich die Umkehr der hellen Linien in dunkle durch Absorption erfolgt. Nach *Secchi* ist es eine Schicht unmittelbar über der Photosphäre der Sonne, die unter einem Winkel von nur 2—3″ erscheint, und welche die rosenrothe Region, in der stets die hellen Linien des Wasserstoffes sichtbar sind, (*Lockyer* nennt sie Chromosphäre), von der eigentlichen Sonnenoberfläche trennt. In dieser schmalen Zwischenschicht verschwinden stets die feineren der hellen Linien, und hier scheint die Gegend der Sonne zu sein, die ein continuirliches Spektrum giebt.

Noch wollen wir bemerken, daß die Beobachtungen ergeben haben, daß die Protuberanzen sowohl ihren Ort, als auch ihre Dichtigkeit oft sehr schnell ändern, während ihre chemische Beschaffenheit dieselbe zu bleiben scheint.

Auch die Sonnenflecken sind spektrisch untersucht worden, und *Huggins* fand am 15. April 1868, daß in dem Spektrum derselben alle dunklen *Fraunhofer*schen Linien vorhanden waren, sich aber breiter darstellten, was für eine größere Verdichtung der Licht absorbirenden Schichten spricht. *Secchi* hat in den Kernflecken auch die rosigen Schleier gefunden, wie sie in den Protuberanzen sichtbar sind, was für einen Zusammenhang zwischen den beiden spricht.

17. **Hypothesen über die physische Beschaffenheit der Sonne.** In dem Vorstehenden haben wir die wichtigsten Resultate zusammenzustellen versucht, welche die fleißige Beobachtung der Sonne ergeben hat. Welche Ansichten über die Beschaffenheit der Sonne lassen sich darauf gründen? Vorweg müssen wir erklären, daß bis jetzt noch keine Hypothese sich ganz allgemeiner

Zustimmung zu erfreuen hat. Bis zur Entdeckung der Spectralanalyse entsprach *Herschels* d. ä. Ansicht am meisten den bis dahin bekannten Thatsachen. Wir halten es für geboten, dieselbe hier in der Kürze zu geben, da noch heute namhafte Astronomen dieselbe, wenn auch mit einigen Aenderungen, für ausreichend halten, die Erscheinungen auf der Sonne zu erklären.

Herschel war der Ansicht, daß der eigentliche Sonnenkörper dunkel sei, oder doch nur spärlich von den darüber befindlichen, Licht ausstrahlenden Hüllen erleuchtet werde. Solcher Hüllen seien zwei vorhanden, und zwar zunächst eine in gewissem Grade undurchsichtige Dunst- oder Wolkenhülle von großer Dichtigkeit, über welcher eine leichtere, sehr glänzende Lichthülle oder Photosphäre schwebe, die nach unten jene Wolkenhülle erleuchte und nach außen das grelle Licht ausstrahle, in welchem wir die Sonne erglänzen sehen, so daß wir bei Betrachtung der Sonne nicht den eigentlichen Sonnenkörper, sondern nur die ihn umhüllende Photosphäre wahrnähmen. *Herschel* war geneigt, sie als eine Schicht unzusammenhängender phosphorischer Wolkenmassen von sehr rauher Oberfläche und in äußerst lebhafter Bewegung begriffen zu betrachten. *Arago* aber hat später mit Hilfe seines Polariscops gezeigt, daß sie sich in einem gasförmigen Zustande befinden müsse. *Herschel* meint ferner, die Photosphäre sei nicht vollkommen durchsichtig, aber auch nicht undurchsichtig, sondern lasse an weniger dicken Stellen jene Wolkenhülle durchschimmern, wodurch die vielen kleinen grauen Flecken entständen, mit denen die Sonne wie übersät erscheint. Würden durch heftige Strömungen größere Lücken in die Photosphäre gerissen und dadurch größere Partien der Wolkenhülle sichtbar, so zeigten sich die grauen Flecken oft von bedeutender Ausdehnung. Zerrisse endlich infolge heftiger Revolutionen auf der Sonnenoberfläche, vielleicht durch heftig aufsteigende Gasausströmungen, auch die unterste Wolkenhülle, entstände also in den beiden Hüllen eine kraterförmige, nach oben sich erweiternde Vertiefung, so erblickten wir im tiefsten Grunde derselben den dunklen Sonnenkörper als kleineren oder größeren schwarzen Kernfleck, der von der weniger dunklen Wolkenhülle, durch die aufsteigenden Gase vielfältig zerrissen, als von dem sogenannten Hof oder der Penumbra umgeben erscheinen müsse. Die durch jene Gasströme zur Seite gedrängte und um den Rand der kraterförmigen Vertiefung aufgehäufte Photosphäre erzeuge endlich die glänzenderen Fackeln, mit denen die Flecken gewöhnlich umgeben sind. Beim Nachlassen der Gasströme vom Sonnenkörper aus stürzten die zuvor gewaltsam getrennten Massen der Wolken- und Lichthülle wieder in die entstandene Lücke, um das gestörte Gleichgewicht der flüssigen Massen wieder herzustellen, wodurch zuletzt die Flecken verschwänden. Lang anhaltende Gasströme gäben die länger andauernden, bald nachlassende die bald wieder verschwindenden Flecken. Der verschiedene Anblick der Sonnenflecken in verschiedenen Gegenden der Sonnenscheibe, namentlich die oben als perspektivische Aenderung derselben am Sonnenrande bezeichnete, auch die Verwandlung der Fackeln in Adern, ist nach dieser Ansicht leicht erklärlich.

Die hier kurz gegebene *Herschel*sche Ansicht, die man wohl die Kratertheorie zu nennen pflegt, war bis zur Entdeckung der Spektralanalyse durch *Kirchhoff* fast von allen Astronomen als die die Erscheinungen ungezwungen erklärende anerkannt. Eine geringe Aenderung derselben wurde durch die genauere Beobachtung der Corona bei den schon öfters genannten totalen Sonnenfinsternissen nöthig, da man über den beiden *Herschel*schen Hüllen noch eine dritte, eine eigentliche Sonnenatmosphäre, anzunehmen gezwungen war, in deren untersten Schichten dichtes glänzendes Gewölk schwimme, das in den Protuberanzen sichtbar werde.

Diese Protuberanzen betrachtet man gegenwärtig als Ansammlungen gasiger Massen über der Photosphäre, in denen namentlich Wasserstoff verbrenne, weil das Spektrum derselben, wie wir schon oben gesehen haben, die charakteristischen hellen Linien des Wasserstoffs zeigt. Dieser Stoff ist am ganzen Rande der Sonne verbreitet und zeigt seine hellen Linien auch da, wo Protuberanzen dem Auge nicht sichtbar werden; es ist also auch wohl sicher, daß er über der ganzen Sonnenkugel verbreitet sein wird. *Lockyer* hat die Dicke einer solchen Hülle auf 1142 g. Mln. berechnet. Es ist ferner wahrscheinlich, daß die Ursachen, welche die Sonnenflecken erzeugen, das rothe Gewölk an manchen Stellen zu ungewöhnlicher Höhe emportreiben. Die flammenartigen Protuberanzen aber dürften vom Sonnenkörper lebhaft aufsteigende Gasströme sein, von denen schon oben gesprochen worden ist.

Hören wir nun, in welcher Weise *Kirchhoff*, der Entdecker der Spektralanalyse, durch seine sogenannte Wolkentheorie die Erscheinungen an der Sonne zu erklären sucht:

Nach ihm kann der eigentliche Sonnenkörper nicht dunkel, noch viel weniger, wie *Arago* für möglich hält, von so niedriger Temperatur sein, daß selbst lebende Wesen sich darauf befinden können; er muß vielmehr ein fester oder tropfbar-flüssiger Körper in der höchsten Glühhitze, also leuchtend sein, und sich noch heute in einem Zustande befinden, in welchem die Erde und wahrscheinlich auch alle Planeten sich nach der Meinung der Geologen in früheren Jahrtausenden einmal befunden haben. Ueber dem glühenden Sonnenkörper befindet sich eine auf tausende von Meilen ausgedehnte gasförmige Hülle, eine Sonnen-Atmosphäre, die wenigstens in den untersten Schichten von so hoher Temperatur ist, daß Stoffe, die auf unserer Erde nach erfolgter Abkühlung nur noch in fester oder flüssiger Form vorkommen, in Dampfform darin schweben und mit dem lebhaften Lichte verbrennen, welches uns in der *Herschel*schen Photosphäre entgegenstrahlt. Welche Stoffe in der Sonnenatmosphäre verbrennen, ist bereits oben gesagt worden.

Da, wie *Secchi* durch gründliche Untersuchungen nachgewiesen hat, die Sonne in verschiedenen Breiten ungleich warm ist, und zwar so, daß die Wärme vom Aequator nach den Polen hin, wie auf der Erde, abnimmt, so müssen sich in der Sonnen-Atmosphäre kältere und wärmere Strömungen bilden, die den auf der Erde wehenden Luftströmen ähnlich, aber wahrscheinlich ungemein viel

heftiger sind. Wie nun in der irdischen Atmosphäre durch das Zusammentreffen kalter und warmer Ströme sich Wolken und Niederschläge bilden, so muß Aehnliches auch in der Sonnen-Atmosphäre geschehen, nur daß die Stoffe, aus denen die Sonnenwolken bestehen, andere, und die letzteren bedeutend dichter sind als unsere irdischen Wolken. Erfolgten aus solchen Wolken Niederschläge, so würden die oben genannten Stoffe in tropfbar-flüssiger Form herabfallen und schwerere Regen als auf der Erde veranlassen. Bilden sich Wolken in größeren, weniger mit Dämpfen erfüllten Höhen, so werden sie weniger dicht sein als die in den unteren Regionen erzeugten, und auf dem Flammenmeer der Sonne die grauen Flecken bilden, die wegen oft weiter Verbreitung der Strömungen sich zu Fleckengruppen gestalten können. Sehr dichte Wolken geben die größeren Flecken, die um so schwärzer erscheinen, je dichter die Wolken sind. Daß auch die niedergeschlagenen Dämpfe noch werden Licht ausstrahlen können, und deshalb nicht ganz schwarz erscheinen, ist leicht einzusehen. Wie aber erklären sich die Höfe um die Kernflecke, die Penumbra? Man könnte daran denken, daß der Rand selbst dichter Wolken der Erde heller erscheint als der mittlere Theil der Wolke. Allein *Kirchhoff* erklärt die Erscheinung anders. Hat sich an einer Stelle der Sonne eine dunkle Wolke gebildet, so wird dieselbe zunächst die unter ihr liegenden Theile der Sonnenoberfläche hindern, die Wärme in die oberen Regionen der Atmosphäre hinaufzustrahlen; es wird also über der Wolke eine Abkühlung erfolgen, die auch in höheren Regionen die Bildung einer lichtern Wolke erzeugen muß. Ist dieselbe groß genug, so wird sie, als die dem Beobachter nähere, jene erste, dichtere Wolke umsäumen und den Hof oder die Penumbra bilden. Diese beiden Wolken sollen also die krater- oder trichterförmige Vertiefung *Herschels* ersetzen. Die Frage, wie es komme, daß dieser Hof nach dem Kernflecke zu stets heller als nach außen erscheint, beantwortet *Kirchhoff* etwa so: Die über der untersten, dichten Wolke befindliche Luft muß, weil abgekühlt und dadurch dichter geworden, nach unten sinken wollen; zugleich muß sich um die Wolke herum ein warmer aufsteigender Strom bilden. Beide Strömungen werden sich begegnen, und da die kalte Luft über der Wolke nicht senkrecht hinabsinken kann, so wird sie eine horizontale Richtung annehmen und die in dem aufgestiegenen Strome enthaltenen Dämpfe nach außen hin mehr und mehr verdichten, und so die nach außen dichtere Penumbra bilden. Die heftige Seitenströmung der kälteren Luft ist auch die Ursache der fast immer beobachteten Streifen in der Penumbra.

Kirchhoff glaubt als die Ursache des Vorkommens der Sonnenflecken in gewissen Breiten die schon oben erwähnten äquatorialen und polaren Strömungen annehmen zu müssen, die auf der Sonne viel regelmäßiger als auf der Erde sein müssen, weil der Wechsel der Tages- und Jahreszeiten und die dadurch bewirkten Temperaturdifferenzen auf der Sonne fehlen. Wo sich beide Strömungen zu treffen pflegten, müßten Wolken und somit Sonnenflecken entstehen.

Auf den Einwurf, wie es komme, daß sich, wie besonders *Wilson* beobachtet, Sonnenflecken als kraterähnliche Vertiefungen zeigten, die am Rande ihre

Gestalt perspektivisch ändern, antwortet *Kirchhoff*, daß dies durchaus nicht von allen Sonnenflecken gelte, und daß auch nach seiner Wolkentheorie bei Sonnenflecken am Rande der Sonne die Flecken so erscheinen müßten, wie sie wirklich beobachtet würden. Er sucht dies etwa folgendermaßen zu beweisen: Man denke sich in *Fig. 85* den größeren Flecken zur Linken als durch zwei Wolken gebildet, durch eine dichtere untere, von der Größe und Gestalt des Kernflecks, und eine lichtere obere, von der des größeren, ähnlich gestalteten Hofes, welche letztere den Kernfleck durchscheinen läßt. Befindet sich nun das Auge eines Beobachters senkrecht über beiden Wolken, was der Fall ist, wenn ein Flecken in der Mitte der Sonnenscheibe erscheint, so wird die obere lichtere, dem Beobachter nähere Wolke über die untere nach allen Seiten etwa gleichweit übergreifen, und darum als Hof oder Penumbra den Kernfleck fast concentrisch umgeben. Bewegt sich dagegen der Flecken nach dem Rande der Sonne, und werden deshalb die Gesichtslinien schief zu den Wolken, so wird allmählich aus perspektivischen Gründen die Concentricität beider Wolken aufhören und endlich der dem Beobachter zugekehrte Rand der oberen Wolke mit dem entsprechenden Rande der unteren optisch zusammenfallen, an dieser Seite also der Hof verschwinden, während er an der entgegengesetzten Seite noch sichtbar bleiben muß, da hier die obere Wolke die untere scheinbar überragt. Auf diese Weise entstehe die Täuschung, als ob der Flecken eine Vertiefung wäre.

Wenngleich nach der *Kirchhoff*schen Wolkentheorie sich die Erscheinungen gut erklären lassen, so wird man, um den Beobachtungen gerecht zu werden, nicht umhin können, nach den bei mehreren Sonnenfinsternissen gesehenen flammenartigen Protuberanzen, Gasströmungen vom Sonnenkörper aus anzunehmen, welche die unteren dichteren, mit Wolkenmassen erfüllten Theile der Sonnenatmosphäre wie in Kratern durchbrechen und jene Massen zu den Seiten anhäufen, ähnlich, wie wir bei Mittheilung der *Herschel*schen Theorie gesehen haben. Nach *Janssens* neuesten Entdeckungen ist ein Zusammenhang zwischen Protuberanzen und Sonnenflecken jetzt nicht mehr zweifelhaft. Aber über solchen Gasströmungen werden sich in den bedeutenden Höhen, zu welchen sie nach den Beobachtungen emporsteigen, infolge der Abkühlung Wolkenmassen bilden müssen, wie über den feuerspeienden Bergen der Erde bei Eruptionen — man denke an die Pinie des Vesuvs — so daß so eine Vermittelung zwischen der Krater- und Wolkentheorie herbeigeführt wird. Jedenfalls dürften die Sonnenfackeln durch kraterähnliche Bildungen sich leichter als durch die ausschließliche Wolkentheorie erklären lassen. Auch *Secchi* hat schon darauf aufmerksam gemacht, daß man wahrscheinlich zwei Arten von Sonnenflecken werde unterscheiden müssen, die sich als Wolkenbildungen, oder als Krater- mit Wolkenbildungen unterscheiden lassen werden. Beide Arten von Flecken würden aber, zur Bestimmung der Rotationszeit der Sonne benutzt, etwas verschiedene Resultate geben. Jedenfalls ist die Sache noch nicht abgeschlossen.

Schließlich wollen wir, um alle Ansichten zu hören, noch die des fran-

zösischen Astronomen *Faye* kurz erwähnen. Er acceptirt im ganzen die Resultate der Spektralanalyse, ist aber nicht Anhänger der *Kirchhoff*schen Wolkentheorie, sondern steht der *Herschel*schen nahe. Nach ihm befindet sich die ganze Sonne in gasförmigem Zustande, und sei von sehr hoher Temperatur; da aber Gase ein geringeres Ausstrahlungsvermögen besäßen als feste und tropfbar-flüssige Körper, so erscheine der eigentliche Sonnenkörper dunkel. Der Einwand mehrerer englischen Astronomen, daß, wenn der Sonnenkörper wenig Licht ausstrahle, er durchsichtig sein, und die von der entgegengesetzten Seite der Photosphäre nach innen austretenden Lichtstrahlen durchdringen lassen müsse, sucht *Faye* dadurch zu entkräften, daß, wie die flammenartigen Protuberanzen erwiesen, von dem Innern des Sonnenkörpers glühende Gase ausgingen; diese müßten sich nach ihrem Austritt aus dem Sonnenkörper ausbreiten und dadurch abkühlen, und seien deshalb im stande, alle Strahlen des tieferen heißeren Innern und die gegenüberliegende Atmosphäre zu absorbiren. Für die Möglichkeit, ja Nothwendigkeit solcher Absorption werden noch mannigfache Gründe geltend gemacht, die wir hier übergehen. Man sieht aus dem Mitgetheilten, wie die Meinungen einander gegenüberstehen; vielleicht gelingt es fortgesetzten Beobachtungen endlich, einer derselben, als der wahrscheinlichsten, zum Siege zu verhelfen.

Um kurz zusammenzufassen, muß man sich die Sonne im ganzen folgendermaßen zusammengesetzt denken: 1) Eigentlicher Sonnenkörper, feuerflüssig oder fest, von sehr hoher Temperatur, uns vielleicht stets unsichtbar; 2) darüber die uns sichtbare Photosphäre, in welcher Stoffe, meist Metalle, die auf unserer Erde bereits fest geworden sind, wahrscheinlich in gasförmigem Zustande leuchten; 3) über der Photosphäre eine Schicht, die Chromosphäre, in welcher das Licht der Photosphäre trübende Stoffe, vor allem Wasserstoff verbrennen; geschieden ist diese Chromosphäre (nach *Secchi*) von der Photosphäre durch eine verhältnismäßig dünne Schicht, in welcher wahrscheinlich hauptsächlich die Umkehrung der hellen Linien des Spektrums in dunkle erfolgt; 4) über der Chromosphäre die allgemeine Sonnenatmosphäre, aus noch unbekannten Gasen zusammengesetzt.

18. **Die Sonne als Quelle des Lichtes und der Wärme.** Täglich empfinden wir es, daß die Sonne für die Erde die Hauptquelle des Lichtes und der Wärme ist. Was wären wir ohne dieselben! Nach der jetzigen physikalischen Anschauung von der Natur beider Gaben werden sie durch die lebhaften Schwingungen des den Weltenraum erfüllenden Aethers bewirkt, die aber ihren Impuls den unvorstellbar schnellen Vibrationen der Atome der Sonne verdanken. Diese Vibrationen aber würden allmählich nachlassen müssen, wenn die Temperatur der Sonne sich im Laufe der Jahrtausende verminderte. So lange wissenschaftliche Wärmebeobachtungen gemacht worden sind, scheint die der Erde von der Sonne gespendete Wärmemenge sich nicht vermindert zu haben. Gegenwärtig ist die Intensität des Sonnenlichtes noch außerordentlich groß; gegen seinen Glanz erscheinen alle künstlichen Lichter dunkel. Als die hellsten dieser Lichter sind wohl das von *Drummond*, hervorgebracht durch die

auf Kreide gerichtete Flamme einer Oxyhydrogen-Lampe, und das von *Davy*, durch einen starken elektrischen Strom zwischen zwei Kohlenspitzen erzeugt (die elektrische Sonne), zu betrachten. Sie blenden unsere Augen, und wir vermögen nicht in sie hineinzuschauen. Allein jenes *Drummond*sche Licht verhält sich zu dem von der Sonnenscheibe ausgestrahlten nur wie 1 : 146 und stellt sich, auf die Sonne projicirt, als ein schwarzer Fleck dar, und das *Davy*sche Licht zeigte sich selbst nach Anwendung sehr großer, den elektrischen Strom erzeugenden Platten doch noch $2^1/_2$mal so schwach als das Sonnenlicht. Erst 300000 Vollmonde würden die eine Sonne ersetzen, und das Licht des hellsten Fixsterns, des Sirius, übertrifft sie fast 800 mill. mal. Mit der größten Freigebigkeit spendet sie es den sie umwandelnden Planeten und strahlt sie es in den Weltenraum hinaus, um vielleicht auch andern Welten Kunde von ihrer Existenz zu geben. Nicht weniger Erstaunen erregend als die außerordentliche Lichtintensität ist die Wärmeausstrahlung der Sonne. Nach *Pouillets* Berechnung ist dieselbe so groß, daß sie im stande wäre, jährlich eine Eisschicht von 98 Fuß von der Erdoberfläche wegzuschmelzen, oder $5^1/_2$ Kubikmeilen Wasser um 1° C. zu erwärmen. Und doch empfängt die Erde nur den bei weitem kleinsten Theil der ausgestrahlten Wärme, da sie diese nach allen Seiten aussendet. Denken wir uns eine Hohlkugel um die Sonne von einem Halbmesser, der der Entfernung der Erde von der Sonne gleich ist, so würden an derselben 2300 mill. der Erde gleiche Kugeln Raum haben, die jede dieselbe Wärmemenge empfingen. Wird aber diese Licht- und Wärme-Intensität immer dieselbe bleiben? oder wird die Sonne, deren Bildungsgeschichte mit der der Planeten verknüpft ist, demselben Loose wie diese verfallen und endlich durch fortgesetzte Ausstrahlung in den kalten Weltenraum sich abkühlen? Unmöglich wäre es nicht; haben doch Fixsterne unzweifelhaft ihre Farbe gewechselt oder sind selbst erloschen! Ist uns von einem Ersatz der ausgestrahlten Wärme etwas bekannt? Von der Erde wissen wir, daß sie sich in den Sternschnuppen fremden Stoff aneignet, der in der Atmosphäre infolge lebhafter Wärmeentwicklung leuchtend wird, und eine ungezählte Zahl von Feuerkugeln stürzt auf ihre Oberfläche herab, um hier ihre Wärme der Erde mitzutheilen. Der hierdurch der letzteren zugeführte Wärmegewinn ist für unsere Instrumente freilich nicht meßbar; aber vorhanden ist er. Was so auf der Erde geschieht, kann wegen der so viel bedeutenderen Anziehungskraft der Sonne auf dieser in einem entsprechenden Verhältnis geschehen. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß in dem Staubringe, der als die Veranlassung des Zodiakallichtes angenommen zu werden pflegt, Stoffe um die Sonne wirbeln, die endlich zu ihr herabstürzen, ihre Bewegung in Wärme umsetzen und, in der Photosphäre verbrennend, die Wärme der Sonne vermehren. Wir daber dieser Gewinn an Wärme hinreichend sein, den durch Ausstrahlung stattfindenden Wärmeverlust zu decken? Wir wissen es nicht, und unterlassen es deshalb auch, die Folgen für die Erde weiter auszumalen, welche die fortschreitende Abkühlung der Sonne herbeiführen müßte.

Die große Wichtigkeit, welche die Sonne für uns und alle Glieder ihres Systems hat, wird es gerechtfertigt erscheinen lassen, daß wir ihrer Betrachtung bisher einen größeren Raum gewidmet haben, als es ursprünglich unsre Absicht war.

Zweites Kapitel.

Von den Planeten.

A. Die inneren Planeten.

1. Merkur ☿.

1. **Schwierigkeit der Sichtbarkeit.** Den Reigen der um die Sonne kreisenden Planeten eröffnet Merkur. Er steht der Sonne am nächsten, schwimmt fortwährend in ihrem Glanze und entzieht sich auf diese Weise gar leicht dem Anblicke der Menschen, so daß es in unseren Breiten nur wenige giebt, die diesen Stern mit bloßen Augen gesehen haben. Da er ferner als Morgenstern nur kurze Zeit vor der Sonne auf- oder als Abendstern nach der Sonne untergeht, und somit immer nur in der Nähe des Horizontes gesucht werden muß, so trüben die in unsern Breiten über dem Horizonte lagernden Dünste gar häufig sein sonst so glänzendes Licht, und aus diesen Gründen ist es erklärlich, daß selbst Astronomen der früheren Zeit ihn nur vom Hörensagen kannten. Selbst *Copernikus* bedauerte noch auf seinem Sterbebette, ihn trotz aller Mühe nicht erblickt zu haben, und der Lehrer des berühmten *Kepler*, *Möstlin*, sagte zuweilen scherzend, daß dieser Planet nur geschaffen zu sein scheine, um die Astronomen in Miskredit zu bringen. Mit größerer Leichtigkeit als in unseren Breiten kann er in den südlicheren Ländern aufgefunden werden, weil ein heiterer Himmel sich über der Erde wölbt, und die Dünste wegen größerer Wärme vollkommener aufgelöst sind als bei uns. So kann es nicht befremden, daß er im Alterthume, trotzdem man keine Fernröhre besaß, so häufig gesehen und als Planet erkannt worden ist.

Bei den außerordentlichen Hilfsmitteln, wie sie den jetzigen Astronomen zu gebote stehen, hat indessen seine Beobachtung keine großen Schwierigkeiten. Er kann selbst um Mittag und in geringer Entfernung von der Sonne leicht aufgefunden werden. Zuweilen erscheint er unter günstigen Bedingungen so hell, daß er behufs besserer Beobachtung mit matten Blendgläsern betrachtet werden muß.

2. **Excentricität und Neigung der Bahn.** Die Bahn Merkurs ist eine sehr elliptische; er wird in dieser Beziehung nur von einigen Asteroiden übertroffen. Die Excentricität der Bahn beträgt nämlich 0,2056; sie ist daher mehr als das 12fache der Excentricität der Erdbahn, nimmt jetzt aber langsam

ab. Die Neigung der Bahn zur Ekliptik beträgt 7° 0′ 7″,7 und verringert sich jährlich um 0″,184.

3. **Entfernung von der Sonne.** Wegen dieser Form der Bahn ist die Entfernung Merkurs von der Sonne eine sehr verschiedene. So beträgt die kleinste Entfernung 0,30751, die mittlere 0,38709 und die größte 0,46668 Sonnenweiten (20682000 geogr. Mln.) oder resp. 6,36, 8 und 9,65 mill. Mln. Seine scheinbare Entfernung von der Sonne aber kann nach S. 247 höchstens 29° (nach *Mädler* 27° 42′) betragen, und dies nur dann, wenn er zur Zeit seiner größten östlichen oder westlichen Ausweichung sich gerade in seinem Aphelio befindet. Daß der Planet, weil seine Bahn von der Erdbahn umschlossen wird, zuweilen stationär wird, und zwar in 18° Entfernung von der Sonne; daß er ferner eine rückläufige Bewegung annimmt und diese 17½ Tg. lang durch 12½° fortsetzt; und daß er endlich Phasen zeigt, haben wir bei der Betrachtung seiner scheinbaren Bewegung a. a. O. ebenfalls bereits angegeben.

4. **Geschwindigkeit.** Da die Entfernung Merkurs von der Sonne bedeutend kleiner ist als die der Erde, von dieser Entfernung aber die Wirkung der seine Bewegung regelnden Anziehungskraft der Sonne abhängt, so muß er sich mit bedeutend größerer Geschwindigkeit um die Sonne schwingen als die Erde. Er legt in jeder Sekunde durchschnittlich 6,62 Mln. zurück, während die Erde in derselben Zeit nur 4,119 Mln. in ihrer Bahn fortrückt; sein täglicher Weg aber beträgt 578880 Mln. Vielleicht hat er wegen seiner Geschwindigkeit und Beweglichkeit das Zeichen ☿ erhalten, welches in der Mineralogie das Quecksilber bedeutet.

5. **Umlaufszeit.** Seine ganze Bahn durchläuft Merkur in Beziehung auf die Fixsterne oder siderisch in 87,96926 Tagen = 87 Tg. 23 Stdn. 15 Min. 44 Sek. Die Merkursjahre sind darum sehr kurz und noch nicht gleich ¼ unserer Erdenjahre. Zur Sonne indessen nimmt Merkur erst wieder nach je 115 Tg. 21 Stdn. dieselbe Stellung ein; die Zeit seiner synodischen Revolution ist also gleich der eben angegebenen Dauer.

6. **Scheinbare Größe.** Wegen der Lage der Merkursbahn innerhalb der Erdbahn ist die Entfernung dieses Planeten von der Erde eine sehr wechselnde. Er kann sich zur Zeit seiner unteren Conjunction der Erde bis auf 11 mill. Mln. nähern, sich aber auch bei seiner oberen Conjunction bis auf mehr denn 31 mill. Mln. von ihr entfernen. Er muß daher von der Erde aus unter sehr verschiedenen Gesichtswinkeln erscheinen. Sein scheinbarer Durchmesser, der in der mittleren Entfernung 6″,7 beträgt, kann sich bis auf 4″,5 vermindern und bis auf 12″,9 vermehren, je nachdem der Planet sich in der kleinsten oder größten Entfernung von der Erde befindet.

7. **Wahre Größe.** Aus der scheinbaren Größe Merkurs und der entsprechenden Entfernung von der Erde hat *Bessel* seinen Aequatorial-Durchmesser zu 670 geogr. Mln., d. i. zu 0,390 des Erddurchmessers bestimmt. Seine Oberfläche ist daher 62,5, sein Volumen 16,66mal so klein als die

entsprechenden Größen der Erde. Eine Abplattung hat sich nicht sicher ermitteln lassen.

8. **Masse und Dichtigkeit.** Es hat lange gewährt, ehe es hat gelingen wollen, die Masse Merkurs mit einiger Zuverlässigkeit zu bestimmen, bis endlich 1841 der *Encke*sche Komet durch die von dem Planeten erfahrenen Störungen dazu Veranlassung gab. Die Rechnung hat die Masse Merkurs $= \frac{1}{4865751}$ der Sonnenmasse ergeben. *Leverrier* nimmt dieselbe jetzt zu $\frac{1}{431655}$ an. Da nun die Erdmasse $= \frac{1}{359551}$ der letzteren ist, so übertrifft die Erde Merkur etwas mehr als 12mal an Masse; es würden also erst 12 Merkurskugeln der Erde das Gleichgewicht halten. — Ein Vergleich der Verhältniszahlen für Masse und Volumen zeigt, daß Merkurs Dichtigkeit größer ist als die der Erde; sie beträgt nämlich 1,403 der letzteren, und sie ist 7,97mal so groß als die des Wassers. Ferner ergiebt eine einfache Rechnung, daß die Schwere an der Oberfläche Merkurs nur $= 0{,}55$ der der Erde ist, und ein freifallender Körper daher in der ersten Sekunde 8,2 Fuß durchläuft.

9. **Rotation; Tageszeiten.** Der fleißigste Beobachter Merkurs war *Schröter*, und was von der Beschaffenheit dieses Weltkörpers bekannt ist, verdanken wir fast ausschließlich seinem unermüdlichen Fleiße. Er nahm zur Zeit, wenn Merkur sichelförmig erschien, regelmäßig eine Abstumpfung des südlichen Horns wahr, als deren Ursache er den Schatten hoher, die Oberfläche Merkurs bedeckender Berge annahm. Aus der regelmäßigen Widerkehr der Abstumpfung des Horns schloß *Schröter* ferner auf eine Rotation Merkurs und berechnete dieselbe zu 24 Stdn. 5 Min.; doch ist diese Zahl nicht ganz zuverlässig.

Aus dem Erscheinen und Verschwinden gewisser dunklen Flecken, die sich oft schnell verändern, und daher nicht gut der festen Oberfläche Merkurs angehören können, schloß *Schröter* auf das Vorhandensein einer Atmosphäre, für deren Existenz auch die nicht scharf begrenzte, sondern verwaschene Lichtgrenze spricht. Außerdem will der genannte Beobachter Berge von nicht weniger als 58000 Fuß Höhe auf Merkur wahrgenommen haben, was indessen ebenfalls noch sehr der Bestätigung bedarf.

10. **Jahreszeiten.** Was den Wechsel der Jahreszeiten betrifft, so ist derselbe bekanntlich von der Neigung der Achse oder des Aequators zur Ebene der Bahn abhängig. In dieser Beziehung hat sich aber bei Merkur nichts Bestimmtes ermitteln lassen; jedoch glaubt unser Gewährsmann dem Aequator Merkurs eine Neigung von 20° gegen die Ebene seiner Bahn zuschreiben zu dürfen. Wenn es damit seine Richtigkeit hätte, so würden, wie bei den Tageszeiten, so auch in manchen Beziehungen bei den Jahreszeiten die Verhältnisse sich ähnlich denen der Erde gestalten. Die heiße Zone würde eine Breite von 40°, jede gemäßigte Zone von 50°, und jede kalte Zone von 20° besitzen. Indessen würde die Kürze des Merkursjahres den Wechsel der Jahreszeiten

wenig hervortreten lassen, da, nach irdischen Verhältnissen zu urtheilen, eine Zeit von 22 Tagen nicht hinreichen dürfte, einer jeden Jahreszeit ein eigenthümliches Gepräge zu verleihen. Es könnten indessen in dem Verhalten des Bodens gegen Licht und Wärme der Sonne Abweichungen von den irdischen Verhältnissen bestehen, die alles anders gestalteten. Jedenfalls herrschen auch auf Merkur andere Bedingungen der Existenz als auf der Erde. So würden unter andern die etwanigen Bewohner im stande sein müssen, eine viel größere Intensität und einen sehr beträchtlichen Wechsel des Lichtes zu ertragen; denn auf der Oberfläche Merkurs erscheint die Sonne wegen ihrer großen Nähe bedeutend größer als auf der Erde, und zwar in der mittleren Entfernung von ihr 6,65, im Perihel 10,58, im Aphel 4,59 mal so groß, und in demselben Verhältnis muß auch die Erleuchtung größer sein; unsere Augen würden auf ihm geblendet werden. Auch die Wärmeverhältnisse müssen bedeutend von denen der Erde abweichen, wenn anders er mit der Erde die gleiche Wärmecapacität besitzt.

11. **Durchgänge Merkurs durch die Sonnenscheibe.** Es geschieht zuweilen, daß Merkur zur Zeit seiner unteren Conjunction vor der Sonnenscheibe erscheint und vor derselben vorübergeht. Solche Erscheinungen sind unter dem Namen der Durchgänge Merkurs durch die Sonnenscheibe bekannt. Im allgemeinen sind derartige Erscheinungen im Wesen eins mit den Sonnenfinsternissen und an dieselben Bedingungen geknüpft; nur erscheint Merkur wegen seiner Kleinheit bloß als ein schwarzes Pünktchen, das mit dem Fernrohre aufgesucht werden muß, und von einer Schwächung des Sonnenlichtes kann darum keine Rede sein.

Lägen die Merkurs- und die Erdbahn in derselben Ebene, so müßten solche Durchgänge sich bei jeder unteren Conjunction ereignen; da indessen beide Bahnen um einen Winkel von 7° 0′ 5″ gegen einander geneigt sind, so können sie sich nur ereignen, wenn Merkur bei seiner unteren Conjunction in oder doch sehr nahe einem seiner Knoten steht, und dies ist in 100 Jahren etwa 13 mal der Fall. Ein Durchgang ist unmöglich, sobald die Entfernung Merkurs vom Knoten größer als 3° 28′ ist.

Die in diesem Jahrhundert noch zu erwartenden Durchgänge werden stattfinden:

1878 den 6. Mai,
1881 » 8. November,
1891 » 10. Mai,
1894 » 10. November.

Bei der jetzigen Lage der Knoten (der aufsteigende Knoten hat eine Länge von etwa 46°) können die Durchgänge Merkurs nur im Mai und November erfolgen. Was die Dauer eines solchen Durchgangs betrifft, so kann dieselbe höchstens 5 Stdn. betragen, wenn nämlich Merkur durch die Mitte der Sonnenscheibe geht; in allen andern Fällen ist natürlich die Dauer eine geringere.

Der berühmte Astronom *Leverrier* unterwarf 21 bis zum Jahre 1848

beobachtete Durchgänge Merkurs einer scharfen Berechnung und fand nicht diejenige genaue Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung, die man gegenwärtig zu fordern pflegt. Da er den Grund dieser Nichtübereinstimmung nicht in der Mangelhaftigkeit der Beobachtungen, auch nicht in einer fehlerhaften Massenbestimmung des Nachbarplaneten Venus, der auf Merkur störend einwirkt, anzunehmen berechtigt war, so kam er auf die Meinung, daß ein noch unbekannter Planet oder eine Planetengruppe zwischen der Sonne und dem Merkur die Ursache jenes Misverhältnisses sein könne, und theilte am 12. Septbr. 1859 seine Ansichten der Akademie der Wissenschaften mit. Wie groß war seine Ueberraschung, als ihm Ende December desselben Jahres von Dr. *Lescarbault*, einem Arzte in Orgères, die Mittheilung wurde, er habe am 26. März genannten Jahres bereits den vermutheten Planeten entdeckt und vor der Sonne vorübergehen sehen. *Leverrier* begab sich sofort nach Orgères, um sich persönlich zu überzeugen, wie weit er der Sache trauen dürfe, fand aber keinen Grund, die Angaben zu bezweifeln. Er berechnete, daß der besagte Durchgang 4 Stdn. 26 Min. 48 Sek. gewährt habe, und bestimmte aus dieser Zeit, die Bahn des Körpers als einen Kreis annehmend, seine Entfernung von der Sonne zu etwa 3 mill. Mln. und die Umlaufszeit zu 19 Tagen. Da nach *Lescarbaults* Angabe der scheinbare Durchmesser des vermutheten Planeten sich nur etwa gleich $^1/_4$ desjenigen Merkurs gezeigt hatte, so würde die Masse des Körpers, wenn seine Dichtigkeit der Merkurs gleich wäre, nur $^1/_{17}$ der Masse dieses Planeten sein, eine Masse, die zu gering wäre, um die angedeuteten Abweichungen im Laufe des Merkur zu veranlassen. Es bleibt daher noch die Möglichkeit bestehen, daß zwischen der Sonne und Merkur nicht ein Körper, sondern eine Gruppe kleiner Planetoiden kreise. Diese Ansicht wird durch manche Nachrichten aus früherer Zeit gestützt, da mehrere Beobachter schwarze Flecken vor der Sonnenscheibe vorübergehen gesehen haben wollen. Allein die Nachrichten darüber sind meist so unbestimmt, daß sich daraus sichere Resultate nicht haben ableiten lassen. Befremden muß es aber, daß bei totalen Sonnenfinsternissen nie ein unbekannter Planet in der Nähe der Sonne gesehen worden ist. Die Sache muß deshalb so lange hypothetisch bleiben, bis neuere Beobachtungen die Existenz des vermutheten Planeten, der bereits den Namen Vulkan erhalten hat, außer Zweifel gesetzt haben.

2. Venus ♀.

1. **Glanz der Venus.** Dieser herrliche Stern ist eine wahre Zierde des Himmels; denn er überstrahlt zur Zeit seines größten Glanzes nicht nur alle Planeten, sondern auch alle Fixsterne. Darum war er auch schon im Alterthume als *Hesperus* (Abendstern) und *Phosphorus* (Morgenstern, Lichtbringer) ein allbekannter Stern, obwohl die Identität der beiden Sterne erst später, man sagt von *Pythagoras*, erkannt wurde. Sein Licht ist zuweilen so hell, daß er wie ein Fixstern funkelt und im Fernrohre nur mit Blendgläsern beobachtet

werden kann. *Lambert* hat berechnet, daß er zur Zeit seines größten Glanzes nur ein 3000 mal schwächeres Licht als der Vollmond besitze. Gegenstände, die dann von ihm erleuchtet werden, werfen einen merklichen Schatten.

Betrachtet man Venus mit einem guten Fernrohre, so erscheint sie selten als runde Scheibe; sie zeigt vielmehr, wie der Mond und Merkur, Phasen von der schmalsten Sichel bis zur vollen Scheibe. Daß dies durch die Lage der Venusbahn innerhalb der Erdbahn bedingt wird, haben wir bereits S. 261 bei Betrachtung ihrer scheinbaren Bewegung kennen gelernt.

2. **Excentricität und Neigung der Bahn.** Unter allen Planetenbahnen nähert sich die der Venus am meisten dem Kreise; denn die Excentricität derselben beträgt nur 0,006864 der halben großen Achse oder sie ist $2^1/_2$ mal so klein als die Excentricität der Erdbahn. Hinsichtlich ihrer Lage im Raum ist die Venusbahn um einen Winkel von nur $3^0\ 23'\ 31'',4$ gegen die Ebene der Ekliptik geneigt.

3. **Entfernung von der Sonne.** Die mittlere Entfernung der Venus von der Sonne beträgt 0,723332 der Entfernung der Erde von der Sonne oder 14,96 mill. Mln.; ihre kleinste Entfernung dagegen ist = 0,7184 und die größte = 0,728263 des Abstandes der Erde vom Sonnenmittelpunkte oder 15,06 und 14,86 mill. Mln.

Ihre scheinbare Entfernung von der Sonne kann höchstens 48^0 betragen; der Planet kann also, wie Merkur, nie um Mitternacht am Himmel, sondern nur vor Sonnenauf- und nach Sonnenuntergang als Morgen- oder Abendstern gesehen werden.

4. **Scheinbare Größe.** Die Entfernung der Venus von der Erde ist eine sehr verschiedene. Sie kann sich nämlich derselben zur Zeit ihrer unteren Conjunction bis auf $5^1/_4$ mill. Mln. nähern, aber zur Zeit ihrer oberen Conjunction bis auf 36 mill. Mln. von ihr entfernen. Hieraus folgt, daß die Venus unter sehr verschiedenen Gesichtswinkeln erscheinen muß. In der mittleren Entfernung von der Erde wird sie unter einem Winkel von $16'',9$ gesehen; dieser Winkel nimmt aber in der größten Entfernung bis auf $9'',5$ ab, in der kleinsten Entfernung bis auf $65'',2$ zu, und der Unterschied ist so beträchtlich, daß er sich selbst dem bloßen Auge in dem veränderlichen Glanze bemerklich macht. Die Zeit des höchsten Glanzes fällt aber nicht mit der des Maximums der scheinbaren Größe zusammen, weil Venus alsdann, in der unteren Conjunction, der Erde die dunkle Seite zuwendet und daher gar nicht gesehen werden kann. Den größten Glanz entwickelt sie in der unteren, der Erde zugekehrten Hälfte ihrer Bahn, etwa 70 Tage vor und nach ihrer unteren Conjunction, wenn sie etwa 40^0 östlich oder westlich von der Sonne steht. Ihr scheinbarer Durchmesser ist dann gleich $40''$ und die Breite der Sichel, die sie alsdann zeigt, nur $10''$. Unter günstigen Verhältnissen, namentlich bei reiner Atmosphäre, kann sie dann selbst bei Tage, am besten 3 bis 4 Stunden nach Mittag, am Himmel gesehen werden.

5. **Wahre Größe.** Der Durchmesser der Venus ist zu 1666 geogr. Mln.

(nach *Mädler* zu 1717 Mln.) berechnet worden; sie ist daher nur wenig kleiner als die Erde. Ihr Volumen verhält sich zu dem der Erde wie 1 : 1,09, oder es ist = 0,91 dessen der Erde. Von einer Abplattung ist bei diesem Planeten, wie bei Merkur, bisher nichts wahrgenommen worden.

6. **Masse und Dichtigkeit.** Die Masse der Venus ist = $\frac{1}{412150}$ der Sonnenmasse bestimmt worden, woraus folgt, daß ihre Dichtigkeit etwas geringer ist als die der Erde; sie beträgt 0,956 der Erd-Dichtigkeit und ist 5,43 mal so groß als die des Wassers. Die genannten Größenverhältnisse der Venus würden nur geringe Verschiedenheiten in den Verhältnissen der Schwere, der Pendellängen, der Fallhöhe in der ersten Sekunde etc. im Vergleich zu den entsprechenden Dingen auf der Erde bedingen, so daß sich in den genannten Beziehungen auf der Venus die physischen Verhältnisse denen der Erde am ähnlichsten gestalten dürften.

7. **Rotation.** Dies scheint auch hinsichtlich der Tageszeiten der Fall zu sein; denn die Rotationszeit beträgt nach den von *de Vico* in den Jahren 1840 bis 1842 angestellten, sorgfältigen Beobachtungen 23 Stdn. 21 Min. 21,93 Sek., und dürfte diese Zahl als die zuverlässigste zu betrachten sein. *Cassini* hatte die Rotationszeit = 23 Stdn. 20 Min. und *Schröter* dieselbe = 23 Stdn. 21 Min. 19 Sek. gefunden. Zur Bestimmung dieser Zeit benutzte man einige matte Flecken der Venusscheibe und namentlich eine regelmäßig wiederkehrende Abstumpfung des südlichen Horns, da es von jenen Flecken nicht ausgemacht ist, ob sie der Venusoberfläche selbst, oder nur der den Planeten etwa umhüllenden Atmosphäre angehören. Das Vorhandensein einer Atmosphäre ist übrigens wahrscheinlich, da sich das von den Rändern der Scheibe ausgehende Licht schwächer zeigt, als das von der Mitte derselben ausgesandte; außerdem zeigt sich die Lichtgrenze der Sichel nicht scharf begrenzt, sondern nach der dunklen Seite zu verwaschen, und überdies die Sichel schmaler als sie nach der Rechnung sein dürfte, beides Erscheinungen, die durch eine die Lichtstrahlen ablenkende Atmosphäre leicht zu erklären sind. Nach *Mädler* ist die Dichtigkeit derselben etwas größer als die der Erde. Merkwürdig ist, daß die Spektralanalyse der Venus zwar die *Fraunhofer*schen Linien mit großer Deutlichkeit gezeigt hat, wie es sein muß, wenn der Planet nur Sonnenlicht zurückstrahlt, aber durchaus keine Linie hat entdecken lassen, welche auf eine das Licht des Planeten absorbirende Atmosphäre hätte schließen lassen. Dieser Umstand ist vielleicht dadurch zu erklären, daß das zurückgestrahlte Sonnenlicht nicht sowohl von dem Planeten selbst als vielmehr von den Wolkenmassen desselben ausgeht, und deshalb der absorbirenden Kraft der dichteren Schichten der Atmosphäre nicht ausgesetzt gewesen ist. Hierfür dürfen auch mehrere in der neusten Zeit von verschiedenen Beobachtern gesehene weiße Wolken sprechen, die sich scharf von anderen dunkleren Flecken abhoben. — Eigenthümlich, doch bis jetzt unerklärt, ist ein mattes, von der dunklen Seite der Venus ausgestrahltes Licht, wie man dergleichen

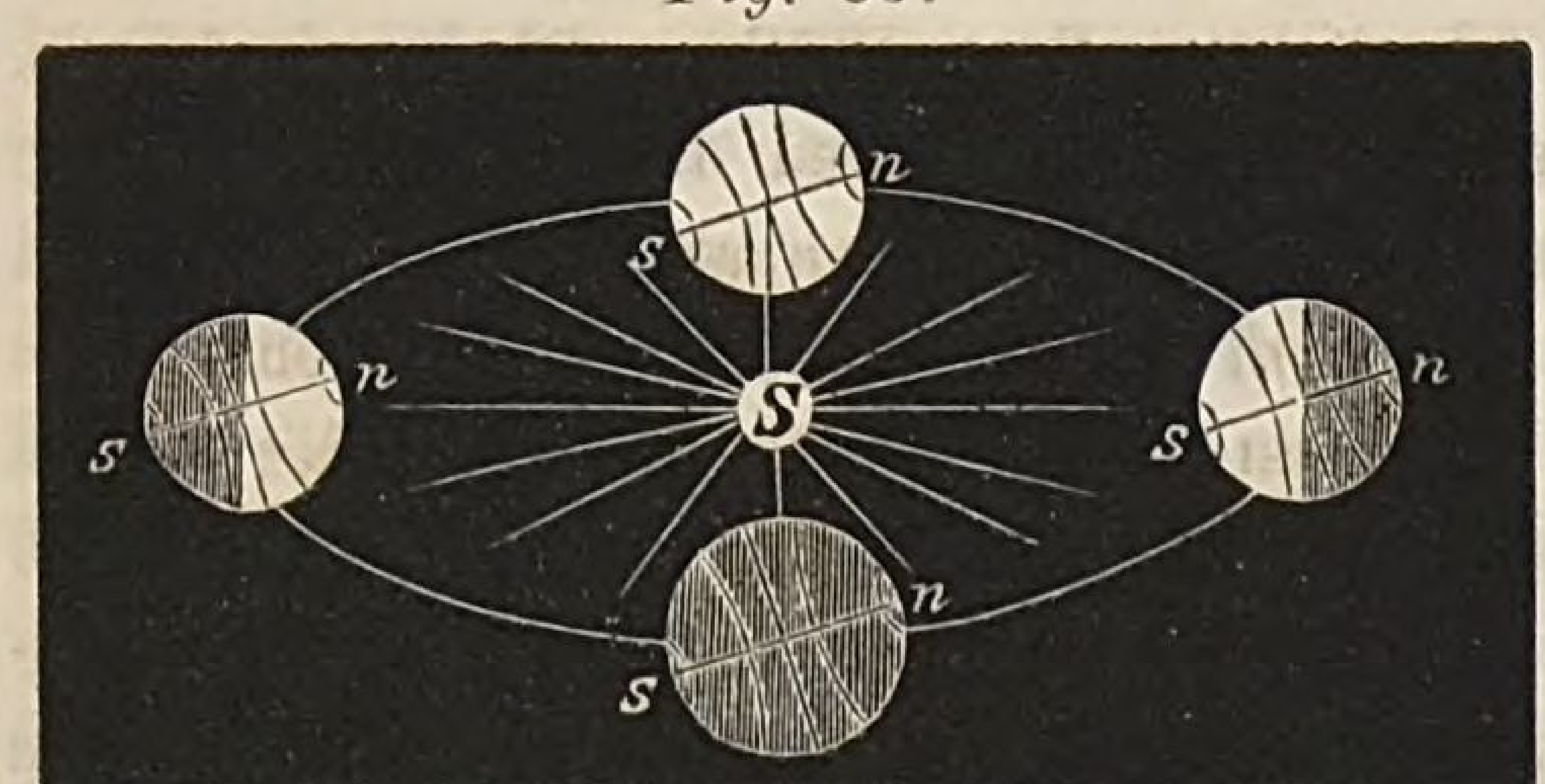
bei dem Monde einige Zeit vor und nach dem Neumonde wahrnimmt. Da es nicht wahrscheinlich ist, daß das Erdlicht bis zu der Venus hin seine Wirkung geltend machen sollte, so dürfte Venus selbst ein eigenes, phosphorisches Licht entwickeln, wie dergleichen auch noch anderen Planeten eigen zu sein scheint.

Wenn endlich *Schröter* durch Beobachtung der Flecken am Rande der Venus Berge von nicht weniger als 6 Mln. Höhe und Gebirge von 200 Mln. Länge auf diesem Planeten entdeckt haben will, so klingt dies sehr unwahrscheinlich und bedarf jedenfalls noch der Bestätigung.

8. **Revolution.** Zuverlässig indessen ist die Zeit der siderischen und synodischen Revolution der Venus bekannt. Die erstere beträgt (heliocentrisch) 224 Tg. 16 Stdn. 49 Min. 8 Sek. oder etwas mehr als sieben unserer Erdenmonate, woraus folgt, daß Venus in jeder Sekunde durchschnittlich 4,84 Mln. in ihrer Bahn zurücklegt. Die synodische Revolution hingegen erfolgt erst in 584 Tagen. Nach dieser Zeit kehrt der Planet, von der Erde aus gesehen, erst wieder zur Conjunction mit der Sonne zurück. Der außerordentliche Unterschied zwischen den beiden genannten Revolutionen erklärt sich einfach daraus, daß die Bahn der Venus von der Erdbahn umschlossen und die Bewegung nicht von einem festen, sondern von einem beweglichen Standpunkte aus betrachtet wird. Ist die von *Schröter* angegebene Neigung des Aequators zur Bahn von 72° richtig, so muß der Wechsel der Jahreszeiten und der Temperatur auf der Venus ein außerordentlicher sein, und hierin müßte der Hauptunterschied zwischen der Venus und unserer Erde liegen.

Da die Neigung des Aequators zur Bahn die Entfernung der Wendekreise vom Aequator bestimmt, so müßten diese Kreise je 72° vom Aequator abstehen, und ebenso groß müßte die Entfernung der Polarkreise von den entsprechenden Polen sein. Es würden also auf der Venus die Polarkreise innerhalb der Wendekreise liegen, durch welchen Umstand die Verhältnisse der einzelnen Zonen sich wesentlich anders gestalten müßten als auf der Erde.

Fig. 89.



Die nebenstehende *Fig. 89* soll zur Verdeutlichung der eigenthümlichen Verhältnisse dienen.

Nennen wir heiße Zone den Gürtel, in welchem die Sonne zweimal im Jahre im Zenithe erscheint, so hätte die heiße Zone der Venus eine Breite von 144°. Allein rasch müßte die Sonne sich hier zum Zenithe hinaufschrauben und sich wieder von ihm entfernen, da sie in nur 56 Tagen, der Dauer einer Jahreszeit, ihre Declination um volle 72° änderte, während die entsprechende Aenderung bei der Erde in etwa 90 Tagen nur $23^1/_2$° beträgt.

Werden kalte Zonen die Gegenden genannt, in welchen die Sonne län-

gere oder kürzere Zeit hindurch nicht auf- und nicht untergeht, so wären die kalten Zonen der Venus je 72° breit; sie reichten also in die vorhin bezeichnete heiße Zone hinein. Gemäßigte Zonen, wie auf der Erde, wären also auf der Venus eigentlich gar nicht vorhanden; denn heißen gemäßigte Zonen die Gegenden, in denen die Sonne täglich auf- und untergeht, so dürften dieselben nur zwischen dem Aequator und den Polarkreisen gesucht werden, und doch wären diese Gegenden passender als die eigentliche heiße Zone zu betrachten. Als gemäßigte Zonen könnten die Gürtel von je 54° Breite angesehen werden, die ihre äquatoriale Grenze in den Polarkreisen, ihre polare in den Wendekreisen hätten. Auf diese Weise würden aber die kalten Zonen die Gegenden zwischen den Polen und den Wendekreisen sein müssen. Die etwanigen Bewohner dieser letzteren Zonen würden während ihres Frühlings die Sonne bis zu einer sehr bedeutenden Höhe (die Polbewohner bis zu 72°, die Wendekreisbewohner bis zu 90°) emporsteigen und längere Zeit, ohne daß sie unterginge, den Horizont umkreisen sehen. Wegen des hohen Standes der Sonne und der langen Tage müßte sich, nach irdischen Verhältnissen zu urtheilen, die Wärme zu mehr denn tropischer Hitze steigern. Im Winter der Polargegenden hingegen müßte, wegen des tiefen Standes der Sonne unter dem Horizonte, an die Stelle der Hitze alles erstarren machende Kälte treten.

Einem solchen schroffen Wechsel der Temperatur würden aber, mehr oder weniger, alle Gegenden der Venus unterworfen sein. So nähme z. B. für den Aequator die Sonnenhöhe von 90° bis auf nur 18° Höhe ab, und innerhalb der Wende- und Polarkreise, in den gemäßigten Zonen, wäre dieser Unterschied noch beträchtlicher; denn während im Sommer dieser Gegenden die Sonne zu Mittag bis zum Zenithe hinaufstiege und längere oder kürzere Zeit hindurch nicht unterginge, würde sie im Winter sich nur sehr wenig über den Horizont erheben und selbst längere Zeit hindurch nicht aufgehen. Ob bei diesem starken Wechsel der Temperatur unsere irdischen Pflanzen bestehen könnten, ist sehr zu bezweifeln; ebenso wenig dürften wir Menschen uns zusagende Bedingungen der Existenz finden. Wegen größerer Nähe der Sonne würde diese etwa $1^2/_5$ mal so groß im Durchmesser, also fast 2 mal so groß an Fläche erscheinen, als uns auf der Erde, und Erleuchtung und Erwärmung würden demnach unter übrigens gleichen Umständen ebenfalls das Doppelte derjenigen sein, welche die Erde erfährt. Genauer bezeichnet die Zahl 1,932 den Grad der Erleuchtung und Erwärmung, den der Erde = 1 gesetzt. Kein Mond erhellt auf der Venus die Nacht, da Venus keinen Begleiter auf ihrer Reise um die Sonne hat, obgleich mehrere Beobachter einen Trabanten zu sehen geglaubt haben. Seit mehr denn 100 Jahren ist indessen mit sehr vervollkommneten Instrumenten kein Venusmond gesehen worden, und auch bei den noch zu erwähnenden Durchgängen der Venus durch die Sonnenscheibe hat man von einem solchen Begleiter nichts bemerkt, so daß seine Nichtexistenz als gewiß angenommen werden kann. Die Unvollkommenheit der Instrumente früherer Zeit mag jene Täuschung hervorgerufen haben.

9. **Durchgänge der Venus.** Wie Merkur, geht auch Venus zur Zeit ihrer unteren Conjunction zuweilen vor der Sonnenscheibe vorüber, und dies kann ebenfalls nur geschehen, wenn der Planet in der genannten Conjunction sich in oder sehr nahe einem seiner Knoten befindet. Da die Neigung der Bahn der Venus zur Erdbahn kaum halb so groß ist (sie beträgt nur 3° 23′ 31″,4), als die 7° betragende Neigung der Merkursbahn, und da außerdem Venus wegen größerer Nähe unter einem größeren Winkel (bis 65″) erscheint als Merkur; so sollte man meinen, daß die Durchgänge der Venus häufiger sein müßten als die Merkurs. Dem ist jedoch nicht so; denn einmal macht die größere Dauer der synodischen Revolution (sie beträgt bei Venus 584, bei Merkur nur 115 Tage), andererseits der Umstand, daß wegen größerer Nähe der Venus jener geringere Neigungswinkel ihrer Bahn unter einem größeren Gesichtswinkel erscheint, die Venus-Durchgänge bedeutend seltener als die Merkurs. Wenn Venus weiter als 1° 49′ von dem entsprechenden Knoten entfernt ist, so geht sie bereits über oder unter der Sonnenscheibe hin, ohne sich auf derselben zu projiciren. In 1000 Jahren pflegt sich nur 16 mal ein Durchgang der Venus zu ereignen. Ein solches Ereignis ist ohne Fernrohr sichtbar, wenn man die Augen durch Blendgläser schützt. Man sieht dann den Planeten als ein schwarzes, vollkommen rundes Scheibchen von etwa 1′ scheinbarem Durchmesser von links nach rechts oder von O. nach W. über die Sonnenscheibe ziehen, und es kann das ganze Phänomen, wenn der Planet den Mittelpunkt der Sonnenscheibe passirt, etwa 7 Stdn. dauern.

Da der aufsteigende Knoten der Venusbahn gegenwärtig eine Länge von 75° 19′ 52″, der absteigende von 255° 19′ 52″ hat, ersterer daher etwa in der Mitte des Zeichens der Zwillinge, letzterer in der Mitte des Zeichens des Schützen liegt; so können Venus-Durchgänge nur im Anfange des Juni und des December sich ereignen, da die Sonne zu diesen Zeiten die angegebene Länge hat, und bis zum Jahre 3000 werden Juni und December die Zeiten der Venus-Durchgänge bleiben. In diesem Jahrhundert werden nur noch zwei Durchgänge stattfinden, nämlich 1874 den 9. December und 1882 den 6. December. Das dann folgende Jahrhundert wird gar kein solches Phänomen bringen, indem erst im Jahre 2004 am 8. Juni sich wieder ein Durchgang ereignen wird. Die Differenz zwischen den beiden erstgenannten Daten von 7 Jahren 363 Tgn. ist für Venus insofern von Wichtigkeit, als sie nach derselben im allgemeinen wieder in dieselbe Lage zur Erde kommt. Nach etwa acht Jahren darf man also z. B. hoffen, Venus in ihrem größten Glanze auch in der zur Beobachtung günstigsten Jahreszeit zu sehen.

10. **Die Venus-Durchgänge ein Mittel, die Entfernung der Sonne zu bestimmen.** Den Venus-Durchgängen wird von den Astronomen eine sehr große Aufmerksamkeit gewidmet, seitdem der englische Astronom *Halley* durch einen im Jahre 1677 auf St. Helena beobachteten Durchgang Merkurs in solchen Durchgängen ein vortreffliches Mittel erkannt hat, die Entfernung der Sonne von der Erde genau zu bestimmen. Vornehmlich eignen sich die Durch-

gänge der Venus wegen ihrer geringen Entfernung von der Erde zu dem gedachten Zwecke.

Da nämlich Venus in ihrer unteren Conjunction der Erde verhältnismäßig sehr nahe kommt, so muß sie von zwei entfernten Standpunkten an verschiedenen Orten des Himmels gesehen werden, indem die von jenen Standpunkten zu ihr gezogenen Gesichtslinien einen Winkel, und zwar einen um so größeren mit einander bilden, je weiter die Standpunkte von einander entfernt sind. Man pflegt diesen Winkel, wie hier vorläufig bemerkt werden mag, da eine gründlichere Erörterung der Sache später folgen wird, die Parallaxe zu nennen.

Wegen der Verschiedenheit des Ortes, an welchem Venus von zwei entfernten Beobachtungsörtern aus gesehen wird, kann aber der Eintritt der Venus in die Sonnenscheibe für diese Oerter nicht zu derselben Zeit erfolgen, wie Aehnliches bereits bei der Erläuterung der Sonnenfinsternisse gesagt ist. Oestlicher gelegene Oerter werden den Eintritt früher, westlicher gelegene später beobachten. Aus der möglichst genau bestimmten Zeitdifferenz des Ein- oder Austritts der Venus für zwei Beobachtungsörter nun läßt sich jene Parallaxe der Venus, oder vielmehr die Differenz der Venus- und Sonnen-Parallaxe (denn auch die Sonne wird von verschiedenen Standpunkten an verschiedenen Stellen des Himmels gesehen) nach einer von *Halley* näher angegebenen Weise berechnen. Sein Vorschlag wurde 1761 und mehr noch 1769 ausgeführt, indem von verschiedenen Regierungen Astronomen nach verschiedenen Oertern der Erde gesandt wurden.

Die Resultate der Beobachtungen hat *Encke* einer genauen Rechnung unterworfen, und für die Sonne in ihrer mittleren Entfernung eine (Horizontal-) Parallaxe von 8″,571 mit einem möglichen Fehler von 0″,037 gefunden. Dieser Winkel ist folgendermaßen zu verstehen: Denken wir uns zwei Beobachter auf dem Erdäquator, von denen der eine die Sonne im Zenithe culminiren, der andere sie in seinem Horizonte eben aufgehen sieht (die Entfernung beider Beobachter wird etwa 90° betragen), so bilden die von diesen Beobachtern zum Sonnenmittelpunkte gehenden Gesichtslinien einen Winkel von 8″,571, der eben die Horizontal-Parallaxe der Sonne heißt. Aus der Horizontal-Parallaxe läßt sich nun, wie später näher erörtert werden wird, leicht die Entfernung der Sonne von der Erde berechnen, und sie ist zu 20682000 geogr. Mln. gefunden worden. Diese Zahl wurde bis vor kurzem als die zuverlässigste betrachtet. Allein manche Thatsachen sprechen dafür, daß sie wahrscheinlich etwas zu groß ist. Nach astronomischen Berechnungen (mit Benutzung der Verfinsterungen der Jupitersmonde, s. d.) durcheilt das Licht die Entfernung von der Sonne zur Erde in 8 Min. 17,8 Sek., und da man nun diese Entfernung zu kennen glaubte, so war es leicht, den Weg des Lichtes in 1 Sek. zu finden. In neuester Zeit hat aber *Foucault* die Geschwindigkeit des Lichtes terrestrisch bestimmt und sie um 1/30 geringer gefunden, so daß, wenn anders die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im Aether und in der irdischen Atmosphäre dieselbe ist, jene Entfernung um 1/30 zu groß wäre.

Zu einem ähnlichen Resultat gelangte der Astronom *Hansen* in Gotha bei seiner äußerst genauen Berechnung der Störungen, welche die Sonne auf den Mondlauf ausübt. Rechnung und Beobachtung stimmen besser überein, wenn die Entfernung der Sonne von der Erde etwas vermindert wird. Auch *Airys* und *Leverriers* Berechnungen der gegenseitigen Einwirkungen von Erde und Venus würden besser mit den Beobachtungen stimmen, wenn man jene Entfernung etwas geringer annähme.

Eine günstige Gelegenheit, die Sache der Entscheidung näher zu führen, bot im Jahre 1862 der Planet Mars zur Zeit seiner Opposition mit der Sonne, bei welcher er sich der Erde bis auf $^2/_5$ der Sonnenentfernung näherte, was erst nach mehreren Jahrhunderten wieder der Fall sein wird. *Winnecke*, Vice-Director der Sternwarte Pulkowa, forderte dazu auf, diesen günstigen Moment zu benutzen, um möglichst genau die Entfernung des Mars von der Erde zu bestimmen. Dies geschah auf den verschiedensten, weit von einander entfernten Sternwarten mit gutem Erfolge. War so auch nur die Entfernung des Planeten in bestimmten Punkten seiner Bahn gefunden, so ließ sich doch bei der Bekanntschaft mit den Bahnelementen auch seine mittlere Entfernung von der Sonne berechnen. Kennt man aber die mittlere Entfernung eines Planeten genau, so läßt sich mit Hilfe des dritten *Kepler*schen Gesetzes auch die der übrigen finden. Aus den gefundenen Resultaten ergiebt sich mit schöner Uebereinstimmung die Parallaxe der Sonne = 8″,965, was eine mittlere Entfernung der Sonne von der Erde von 19778000 geogr. Mln. voraussetzen würde. *Littrow* glaubt als das Mittel von allen bis jetzt als zuverlässig anzusehenden Beobachtungen die Sonnen-Parallaxe = 8″,94 annehmen zu dürfen, wonach die bisher berechneten Entfernungen der Planeten etwa um $^1/_{24}$ verringert werden müßten, so daß die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne 19829000 geogr. Meilen betrüge.

Sorgfältige Beobachtungen der in den Jahren 1874 und 1882 erfolgenden Venus-Durchgänge werden dazu beitragen, uns über die Entfernung der Sonne von uns immer genauere Kenntnis zu verschaffen. Eine solche Kenntnis ist aber eine außerordentlich wichtige, da die Entfernung der Sonne oder der Halbmesser der Erdbahn der Maßstab ist, mit dem die Entfernung der übrigen Planeten von der Sonne und selbst der Fixsterne gemessen zu werden pflegt. Da ferner von der Entfernung die scheinbare Größe eines Gegenstandes abhängt, aus dieser aber bei bekannter Entfernung die wahre Größe berechnet wird, so wird auch unsere Kenntnis der Planeten in dieser letzteren Beziehung um so richtiger werden, je genauer uns die Entfernung der Sonne von der Erde bekannt ist. Hieraus erklärt sich die Wichtigkeit, welche die Astronomen den Venus-Durchgängen beilegen.

Als Zeichen der Venus pflegt ein Kreis mit einem darunter befindlichen Kreuz zu dienen, ♀, und soll dieses Zeichen wahrscheinlich einen mit einem Handgriffe versehenen Spiegel vorstellen, dessen die Göttin der Schönheit als ein nothwendiges Attribut nicht wohl entbehren kann. In der Mineralogie ist

das obige Zeichen die Bezeichnung des Kupfers. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die ersten Spiegel aus diesem Metalle verfertigt wurden.

3. Die Erde ♁ mit ihrem Monde ☾.

A. Die Erde.

Ueber unsere Erde ist in dem Früheren bereits vieles, namentlich über ihre Gestalt, Größe, Bewegung etc. mitgetheilt worden. Es möge indessen das, was dort zerstreut sich findet, hier noch einmal in der Kürze zusammengestellt werden und neben anderen Bemerkungen seinen Platz finden.

1. **Excentricität der Bahn.** Die Erdbahn ist wenig elliptisch; denn ihre Excentricität beträgt nur 0,01677, d. i. $^1/_{60}$ der halben großen Achse. Diese Größe ist aber veränderlich, und zwar findet gegenwärtig eine säculare Verminderung von 0,000042 statt.

2. **Die Schiefe der Ekliptik.** Der Neigungswinkel, den die Erdachse mit der Ebene der Erdbahn bildet, war im Jahre 1840 $= 66^0\,32'\,24'',2$; doch ist auch dieser Winkel, dessen Complement die Schiefe der Ekliptik bildet, die somit $= 23^0\,27'\,35'',8$ ist, nicht unveränderlich. Nach *Laplace* schwankt die Ekliptik in langen Perioden von mehr als 60000 Jahren um ihre mittlere Lage höchstens $1^1/_2{}^0$ nach beiden Seiten, so daß jene Schiefe weder viel kleiner noch viel größer werden kann, als sie gegenwärtig ist. Jetzt ist sie im langsamen Abnehmen begriffen, und beträgt die jährliche Verminderung $0'',4758$. Diese Abnahme wird aber einmal aufhören und dann wieder langsam sich in Zunahme verwandeln. Wegen der Geringfügigkeit der Schwankung werden die klimatischen Verhältnisse der Erde davon nur wenig berührt werden, wenngleich der dadurch bedingte Höhenunterschied der Sonne im Sommer und im Winter nicht ganz unmerklich bleiben wird.

3. **Bewegung der Apsidenlinie.** Auch die große Achse der Erdbahn ist stetigen Aenderungen ihrer Lage unterworfen, und zwar dreht sich dieselbe rechtläufig, also in der Richtung der Zeichen, allmählich volle 360^0 herum, so daß Perihel und Aphel den verschiedensten Gegenden des Himmels zugewandt werden. Im Jahre 1840 hatte das Perihel eine Länge von $100^0\,11'\,27'',3$, und die Sonne steht in demselben am 1. Januar des Jahres. Die jährliche Aenderung der Länge des Perihels beträgt in Beziehung auf den Frühlingspunkt oder tropisch $61'',70$, woraus folgt, daß sie erst nach nahe 21000 Jahren eine ganze Umdrehung vollendet. In je 58 Jahren verschiebt sich das Datum, an welchem die Erde in den Punkt der Sonnennähe gelangt, um einen Tag; es wird allmählich durch alle Jahreszeiten rücken. Auf die klimatischen Verhältnisse wird auch die Bewegung der Apsidenlinie wegen der geringen Excentricität der Bahn nur von geringem Einfluß sein.

4. **Präcession der Nachtgleichen.** Außer der Apsidenlinie verändert auch die Durchschnittslinie der Ebene der Erdbahn mit der des Aequators oder die Aequinoctiallinie beständig ihre Lage. Diese Bewegung ist aber nicht

gleichmäßig, sondern besteht eigentlich aus zwei Bewegungen, einer recht- und einer rückläufigen. Die letztere aber ist die größere, und darum schreitet der Frühlingspunkt, auf den man die Bewegung zu übertragen pflegt, in der Ekliptik gegen die Richtung der Zeichen zurück. Die jährliche Aenderung des Frühlingspunktes oder die Präcession der Nachtgleichen beträgt 50″221, was in 100 Jahren oder in einem Säculum eine Aenderung von 1°,395 ausmacht. Erst nach etwa 25000 Jahren, dem Platonischen Jahr, wird der Frühlingspunkt seine jetzige Stellung wieder einnehmen. Welche Folgen die Präcession der Nachtgleichen für den Anblick des gestirnten Himmels herbeiführt, und aus welchen Ursachen sie entsteht, werden folgende Abschnitte lehren.

5. **Entfernung der Erde von der Sonne.** Die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne beträgt nach *Bessels* Bestimmungen 20682440 geogr. Meilen, oder 24065,9 Erdhalbmesser oder 214,76 Sonnenhalbmesser, welche Entfernung aber, wie bereits bemerkt, vielleicht um etwas vermindert werden muß. In der Sonnenferne, am 2. Juli, beträgt die größte Entfernung der Erde von der Sonne 21030055 Mln., und in der Sonnennähe, am 1. Januar, die kleinste Entfernung 20334825 Mln.

Das Licht durchläuft die mittlere Entfernung in 8 Min. 17,8 Sek., so daß wir die Sonne nicht sehen, wie sie ist, sondern wie sie vor der genannten Zeit war. Der Schall würde den Weg zur Sonne erst in 15 Jahren zurücklegen, und ein Dampfwagen, der in jeder Stunde 7 Mln. machte, nicht weniger als 337 Jahre gebrauchen.

6. **Revolution der Erde.** In einem Zeitraume von 365 Tgn. 6 Stdn. 9 Min. 10,7496 Sek., der Dauer des siderischen Jahres, vollendet die Erde ihre Reise um die Sonne, oder legt sie genau 360° zurück. Die obige Zahl giebt aber nicht die Dauer des bürgerlichen Jahres an. Dieses ist die Zeit, nach welcher die Sonne wieder zum Frühlingspunkte zurückkehrt und dieselben Verhältnisse in der Beleuchtung und Erwärmung von neuem beginnen. Das bürgerliche oder tropische Jahr hatte im Jahre 1850 eine Dauer von 365 Tgn. 5 Stdn. 48 Min. 47,8091 Sek.; wegen der oben angedeuteten ungleichmäßigen Bewegung des Frühlingspunktes ist die Länge desselben kleinen Aenderungen unterworfen. Im Mittel durchläuft die Erde täglich einen Bogen von 59′ 8″,3. Ihre größte Geschwindigkeit in der Sonnennähe beträgt 61′ 10″,1, ihre kleinste in der Sonnenferne 57′ 11″,7. In jeder Stunde legt sie durchschnittlich 14828,5 Mln. und in jeder Sekunde 4,119 Mln. zurück.

7. **Scheinbare Größe.** Auf den ersten Blick ist mancher kaum geneigt, die Erde für einen Himmelskörper zu halten, da er sie nicht, wie Sonne, Mond und Sterne, am Himmel zu erblicken meint. Anders würde freilich das Urtheil ausfallen, wenn man seinen Standpunkt fern von der Erde, etwa auf dem Monde oder der Venus nehmen könnte: man würde sie dann ebenfalls als einen Stern unter den Gestirnen des Himmels glänzen und das Licht zurückstrahlen sehen, welches sie von der Sonne empfängt. Auf der Erdoberfläche sind wir ihr zu nahe, und sie erscheint uns da unter einem Winkel von fast

180°, so daß sie uns die ganze Hälfte des Himmels verdeckt. Mit zunehmender Höhe nimmt aber der Gesichtswinkel an Größe ab; so erscheint sie uns in einer Höhe von 10 Fuß unter einem Winkel von 179°,86 (S. 75); auf dem Monde würden wir sie unter einem Winkel von nur 2°, und von der Sonne aus unter einem Winkel von nur 17″ erblicken, also so groß, wie Venus in ihrer mittleren Entfernung von der Erde von uns gesehen wird.

8. **Wahre Größe.** Der Aequatorial-Durchmesser der Erde beträgt nach *Bessel* 1718,8734 geogr. Mln., und da der Abplattungs-Exponent $= \frac{1}{299{,}1528}$ ist, so ist die Achse = 1713,1274 Mln., so daß daher die Achse 5,7460 Mln. kürzer ist als der Aequatorial-Durchmesser.

Aus diesen Größen ergiebt sich die Oberfläche der Erde = 9279848,422 Quadratmeilen und der körperliche Inhalt = 2650180306 Kubikmeilen.

Wegen der Abplattung sind die Meridiane nicht Kreise, sondern Ellipsen, deren Excentricität = 0,00816984 ist; doch ist hierbei vorausgesetzt, daß die Erde als ein ideales Ellipsoid aufgefaßt und von der unregelmäßigen Krümmung der Erdoberfläche, namentlich des Landes, abgesehen wird. In Wahrheit weichen die Meridiane nicht ganz unbeträchtlich von einer vollkommenen Ellipse ab; auch sind sie nicht von genau gleicher Länge.

Die größten Erhebungen der Erde über den Spiegel des Meeres (der Mount Everest ist 27212 Fuß hoch) betragen etwa den 720. Theil des Aequatorial-Halbmessers; dagegen machen die Tiefen, bis zu welchen man unter das Meeres-Niveau in die feste Erdrinde eingedrungen ist, kaum den 8200. Theil des Aequatorial-Halbmessers aus, so daß man also nur eine sehr dünne Schicht der Oberfläche einigermaßen kennt. Es ist darum immer etwas gewagt, aus der Beschaffenheit einer so dünnen Schicht auf die der ganzen Erde oder auch nur ihrer Rinde zu schließen.

9. **Dichtigkeit der Erde.** Wäre die Erde überall von gleicher Dichtigkeit, und zwar so dicht, wie durchschnittlich die Stoffe der Oberfläche, so müßte die Abplattung aus theoretischen Gründen $^1/_{230}$ des Aequatorial-Halbmessers betragen. Sie ist aber, wie die Gradmessungen ergeben haben, gleich $\frac{1}{299{,}1528}$; es muß daher die Erde in verschiedenen Schichten eine ungleiche Dichtigkeit besitzen. Aus später näher zu besprechenden, scharfsinnigen Pendelversuchen hat sich die durchschnittliche Dichtigkeit der Erde 5,68mal so groß als die des Wassers ergeben. Da die meisten uns bekannten Gesteine der Erdoberfläche nur 2 bis 3mal so dicht als Wasser sind, so ist es mehr als wahrscheinlich, daß die Dichtigkeit der Erde nach dem Mittelpunkte hin zunimmt, und dies erscheint als natürlich, da ja die unteren Schichten den Druck der oberen aushalten müssen. Vielleicht ist das Innere der Erde mit metallinischen Stoffen von großem specifischen Gewichte erfüllt; doch dürften sich diese Stoffe in geschmolzenem Zustande befinden müssen, da die Erde eine ihr eigenthüm-

liche, nach dem Mittelpunkte hin zunehmende Wärme zu besitzen scheint, wie unter andern die aus großen Tiefen kommenden heißen Quellen zeigen. Geeignete Versuche haben ergeben, daß, nachdem man die obere, den Wirkungen der Sonnenstrahlen ausgesetzte Schicht durchbrochen, in mittleren Breiten mit je 95 Fuß Tiefe die Wärme um einen hunderttheiligen Grad zunimmt, wonach in der Tiefe einer d. Meile sich schon eine Temperatur finden müßte, welche die der Oberfläche um mehr denn das 250fache übertrifft. In einer Tiefe von 30 Mln. müßte, wenn anders die Wärme in den unteren Schichten wie näher der Oberfläche zunimmt (wahrscheinlich ist die Zunahme in der Tiefe schneller), eine Hitze herrschen, die jeden uns bekannten schmelzbaren Stoff in einen flüssigen Zustand versetzte. Hiernach hätte die Erde einen flüssigen Kern, der mit einer verhältnismäißg dünnen, erhärteten Schale umgeben wäre.

Die Masse der Erde ist $= \frac{1}{359551}$ der Sonnenmasse bestimmt worden.

10. **Die Atmosphäre der Erde.** Die Erde ist mit einer Lufthülle umschlossen, die man gewöhnlich die Atmosphäre nennt. Sie ist die nothwendige Bedingung alles organischen Lebens und steht mit den meteorologischen, physikalischen und chemischen Processen in so innigem Zusammenhange, daß wir uns ein Sein ohne Atmosphäre auf der Erde nicht vorzustellen vermögen.

a) Druck und Höhe der Atmosphäre. Weil die Luft ein Körper ist, und darum ihre einzelnen Theile auf einander drücken, so muß die größte Dichtigkeit unmittelbar an der Erdoberfläche sein. Bekanntlich dient das Barometer dazu, die Größe des Luftdrucks zu bestimmen. Im Durchschnitt hält im Niveau des Meeres und bei 0° Wärme die Luft einer Quecksilber-Säule von 28″ das Gleichgewicht, woraus sich die Masse der Atmosphäre etwa $= \frac{1}{1000000}$ der Erdmasse ergiebt. Mit zunehmender Höhe nimmt die Dichtigkeit der Luft ab, und in einer Höhe von 14000 bis 15000′ ist sie etwa noch halb so groß als im Niveau des Meeres. Jedenfalls aber muß sie endlich aufhören und also eine obere Grenze haben. Wo aber diese obere Grenze ist, hat sich bis jetzt noch nicht zuverlässig bestimmen lassen; sie muß indessen, wie aus der Dauer der Morgen- und Abenddämmerung hervorgeht, wenigstens 9 bis 10 Mln. hoch sein. Nach der Höhe, in der noch Sternschnuppen aufglimmen, muß man die Höhe auf 20 bis 30 Meilen setzen.

b) Temperatur-Verhältnisse derselben. Wegen der mit der Höhe abnehmenden Dichtigkeit muß auch mit zunehmender Höhe eine Abnahme der Temperatur vorhanden sein, und nach angestellten Versuchen beträgt diese Abnahme 1° des hunderttheiligen Thermometers bei 80,2 Toisen oder 481,2 Fuß. Hieraus folgt, daß es endlich Regionen der Atmosphäre geben muß, in denen selbst in den heißesten Sommertagen die Temperatur bis auf 0° herabgesunken ist, und in diesen Regionen wird im allgemeinen die Schneegrenze beginnen. Unter dem Aequator liegt sie in etwa 15000 Fuß Höhe; nach den Polen zu

aber sinkt sie mehr und mehr zum Niveau des Meeres hinab, ohne dieses jedoch jemals zu erreichen. Bis zur Schneegrenze hinauf ruft der Wechsel der Jahreszeiten gewiß noch Schwankungen in der Temperatur der Atmosphäre hervor. Es muß jedoch Regionen geben, in denen diese Schwankungen gänzlich verschwinden, wie z. B. in unseren Breiten in einer Tiefe von etwa 70 Fuß der Wechsel der Jahreszeiten gar nicht mehr empfunden wird. Herr *v. Lindenau* glaubt die Höhe der der Einwirkung der ausgestrahlten Erdwärme nicht mehr ausgesetzten Luftregionen in eine Höhe von 34158 Fuß setzen zu dürfen; doch ist diese Zahl wahrscheinlich viel zu klein. In dieser Höhe würde also die Temperatur des Weltenraumes beginnen. Man hat versucht, da man bis zu so bedeutenden Höhen nicht aufsteigen kann, auf theoretischem Wege diese Temperatur zu berechnen. Da indessen viele unbekannte Faktoren mit in Rechnung gezogen werden müssen, so läßt sich von vornherein vermuthen, daß die gefundenen Resultate nicht genau übereinstimmen werden. Immerhin aber ist es ein interessanter Versuch. *Fourier* hat die Temperatur des Weltenraumes $= -50^0$ bis -60^0, *Svanberg* $= -50^0{,}35$, *Poisson* $= -52^0$, *Arago* $= -57^0$, *Pouillet* hingegen $= -142^0$ des hunderttheiligen Thermometers gefunden.

Jedenfalls schwebt die Erde in einem sehr kalten Raume, und sie muß durch Ausstrahlung von ihrer ursprünglichen Wärme bereits bedeutend verloren haben. Es ist eine Frage von Wichtigkeit, ob gegenwärtig zwischen Verlust an Wärme durch Ausstrahlung in den Weltenraum und Gewinn an Wärme durch Einwirkung der Sonne bereits das Gleichgewicht hergestellt ist, oder ob die Erde noch jetzt mehr und mehr erkaltet. Eine zuverlässige Antwort auf diese Fragen ist bis jetzt nicht zu geben; doch sind viele Physiker geneigt anzunehmen, daß der Zustand des Gleichgewichts bereits eingetreten sei.

c) Reflexion des Lichtes durch die Atmosphäre. Auch in der Beleuchtung der Erde durch die Sonne spielt die Atmosphäre eine nicht unbedeutende Rolle, ja sie scheint zur Fortpflanzung des Lichtes mehr geeignet als zur Verbreitung der Wärme. Jedes Lufttheilchen, das von der Sonne beschienen wird, wirkt wie ein Spiegel; durch Reflexion strahlt es das empfangene Licht nach allen Seiten hin aus. Auf diese Weise wird auch dahin Licht gebracht, wohin die Sonne direkt nicht scheinen kann.

Ohne diese Fähigkeit der Luftatome würde es in dem Schatten eines Gegenstandes, wenn nicht etwa andere erleuchtete Gegenstände in der Nähe wären, die ihr Licht durch Reflexion verbreiteten, vollkommen finster sein, was doch, wie wir aus Erfahrung wissen, nicht der Fall ist. Und wie die Luft in Schattenräume Licht verbreitet, so trägt sie dadurch, daß sie das von der Sonne empfangene Licht vor deren Auf- und nach deren Untergange reflektirt, und so die Morgen- und Abenddämmerung hervorruft, zur Verlängerung des Tages und zur Verkürzung der Nacht bei. Daß man aus der Dauer der Dämmerung die Höhe der Atmosphäre zu 9 bis 10 Mln. berechnet hat, ist bereits erwähnt worden. Von einem fernen Standpunkte außerhalb der Erde,

etwa von dem Monde aus, würde die 18° breite Dämmerungszone der Erde sich deutlich erkennen lassen; sie würde die Lichtgrenze nicht scharf begrenzt und Licht und Schatten in einander übergehend erscheinen lassen. Eine verwaschene Lichtgrenze wird darum stets als ein Beweis für das Vorhandensein einer Atmosphäre, d. i. einer gasartigen Hülle, bei einem Weltenkörper angesehen.

d) Refraction des Lichtes durch die Atmosphäre. Aber auch durch die Fähigkeit, den Lichtstrahl von der geraden Linie abzulenken oder ihn zu brechen, trägt die Luft zur Verlängerung unserer Tage bei. Bekanntlich beträgt die astronomische Refraction am Horizonte 33′ (nach *Mädler* 36′) oder mehr als einen halben Grad; darum wird die Lichtgrenze durch sie mehr als $^1/_2{}^0$ in die Schattenseite hineingerückt, und mehr als die Hälfte der Erde, nämlich 0,50436, hat wirklichen Sonnenschein. In unsern Breiten wird durch diesen Umstand der Tag etwa um 8 Min., nach den Polen zu um Stunden, ja Tage und Wochen verlängert.

Noch in vielen andern Beziehungen ist die Atmosphäre für die Erde und die auf ihr lebenden Wesen von der höchsten Wichtigkeit; wir müssen uns hier aber auf die vorstehenden Bemerkungen beschränken.

11. **Rotation der Erde.** Die Zeit, innerhalb welcher sich die Erde mit vollkommen gleichmäßiger Geschwindigkeit um sich selbst bewegt, beträgt 24 Stdn. Sternzeit oder 23 Stdn. 56 Min. 4,091 Sek. mittlerer Zeit (S. 184). In dieser Zeit durchläuft jeder Punkt der Erdoberfläche, mit Ausnahme der Pole, 360°. Die größte Geschwindigkeit besitzen die Punkte des Aequators; denn in jeder Sekunde legen sie 1438,56 Fuß zurück. Es hat lange gewährt, ehe man von der Rotation der Erde überzeugt gewesen. Hätte man den Standpunkt auf dem Monde nehmen können, so würde man nicht lange in Ungewißheit geblieben sein; aus der regelmäßigen Wiederkehr gewisser helleren und dunkleren Flecken, veranlaßt durch Land und Meer, hätte die Rotation der Erde unmittelbar erkannt werden müssen. Wir wollen indessen hier das Bild der Erde, wie es vom Monde aus erscheinen muß, nicht näher ausführen, sondern in dem Folgenden von diesem treuen Begleiter der Erde einiges Nähere hören. Zuvor sei jedoch noch bemerkt, daß die Erde durch einen Kreis bezeichnet zu werden pflegt, auf welchem ein Kreuz als Symbol des Christenthums sich befindet ♁.

B. Der Mond ☾.

Unter allen Gliedern des Sonnensystems nimmt der Mond, als der treue Begleiter unserer Erde, unsere besondere Aufmerksamkeit in Anspruch. Freundlich erhellt er unsere Nächte; als Veranlasser von Ebbe und Flut erhält er die großen Wassermassen der Erde in steter Bewegung und hindert dadurch die darin befindlichen animalischen und vegetabilischen Stoffe an der Verwesung; endlich scheint er auch in den Witterungsverhältnissen einen, wenngleich noch nicht genau erforschten, Einfluß zu üben. Diesen großen Einfluß auf die Erde

verdankt er nicht etwa seiner großen Masse; denn diese beträgt nur $\frac{1}{79,66}$ der Erdmasse, sondern der geringen Entfernung, in welcher er seine Bahn um die Erde vollendet, und wegen dieser geringen Entfernung ist man auch im stande, über seine physische Beschaffenheit in einem Umfange Aufschluß zu geben, wie bei keinem anderen Himmelskörper.

1. **Excentricität und Neigung der Bahn.** Er bewegt sich bekanntlich in einer sehr stark elliptischen Bahn um die Erde; denn die Excentricität derselben ist mehr als das Dreifache der Excentricität der Erdbahn, nämlich = 0,054908 der halben großen Achse oder, in Meilen ausgedrückt, = 2841 geogr. Mln. So weit steht also die in dem einen Brennpunkte der Mondbahn stehende Erde von dem Centrum der Bahn ab. Gegen die Ekliptik ist die Mondbahn um einen Winkel von 5⁰ 8′ 39″,96 geneigt; derselbe kann sich aber bis auf 5⁰ vermindern und bis auf 5⁰ 18′ vermehren. Die Knoten rücken schon in 18 Jahren 218 Tg. 21 Std. 22,46 Sek. rückläufig in der Ekliptik herum.

2. **Bewegung der Apsidenlinie.** Auch die große Achse der Mondbahn oder die Apsidenlinie ändert ihre Lage, und zwar ziemlich schnell, da sie schon nach 8 Jahren 310 Tg. 13 Stdn. 48 Min. 53 Sek. einen ganzen Umlauf vollendet, so daß das Perigäum und Apogäum in dieser Zeit am Himmel einen Kreis vollendet haben. Die Bewegung ist eine rechtläufige.

3. **Entfernung von der Erde.** Die Entfernung des Mondes von der Erde ist wegen der großen Excentricität der Bahn eine sehr veränderliche; sie beträgt im Mittel (nach *Hansen*) 51804,96 geogr. Mln., nimmt aber in dem Punkte der Erdnähe oder im Perigäum bis auf 49002,79 Mln. ab, in dem Punkte der Erdferne oder im Apogäum hingegen bis auf 54607,13 Mln. zu. Nach neueren, auf der Sternwarte zu Greenwich angestellten Beobachtungen soll die mittlere Entfernung des Mondes nur 51762 Mln. betragen.

4. **Scheinbare Größe.** Diese große Verschiedenheit der Entfernung giebt sich in der veränderlichen scheinbaren Größe zu erkennen. Der Durchmesser des Mondes erscheint im Mittel unter einem Winkel von 31′ 3″,38; in der größten Entfernung von der Erde ist der kleinste scheinbare Durchmesser = 29′ 22″ und in der kleinsten Entfernung der größte = 33′ 31″. Unter diesen Winkeln erscheint der Mond indessen nur für Oerter, die den Mond im Horizonte sehen. Für Oerter, die ihn im Zenithe haben, ist der mittlere scheinbare Durchmesser = 31′ 19″,18, weil dieselben dem Monde um die Länge des Erdhalbmessers näher stehen.

5. **Wahre Größe.** Der wahre Durchmesser des Mondes beträgt 0,27296 des Erddurchmessers oder 469,2 geogr. Mln. Nach den oben angedeuteten Greenwicher Beobachtungen wäre der Durchmesser ½ Ml. länger. Daraus ergiebt sich der Umfang des Mondäquators zu 1473,128 Mln., die Größe der Oberfläche zu 691266 Quadratmeilen und der körperliche Inhalt zu 54057042 Kubikmeilen. Die ganze Oberfläche des Mondes ist demnach noch nicht so

groß als der Flächeninhalt Asiens und selbst Amerikas; er ist indessen größer als Afrika, und fast so groß wie Afrika und Australien zusammen. Die Oberfläche der Erde übertrifft die des Mondes 13,4 mal, und ihr Volumen das des Mondes 49 mal.

6. **Masse und Dichtigkeit.** Indessen erst 79,66 Kugeln von dem Gewichte des Mondes würden einer Erde das Gleichgewicht halten; die Masse des Mondes ist also nur $\frac{1}{79,66}$ der Erdmasse. Demnach hat der Mond eine geringere Dichtigkeit als die Erde. Während die Dichtigkeit dieser die des Wassers 5,68 mal übertrifft, ist die des Mondes nur 3,068 mal so groß als die des Wassers, oder sie ist nur 0,563 der Dichtigkeit der Erde, eine Dichtigkeit, wie sie viele Steine auf der Erde besitzen.

7. **Verhältnisse der Schwere.** Da die Masse des Mondes nur $\frac{1}{79,66}$ der Erdmasse ist, so müßte, wenn anders diese geringere Masse gleiches Volumen mit der Erde hätte, auf der Mondoberfläche eine 79,66 mal so geringe Anziehung herrschen als auf der Erde. Allein die geringere Mondmasse wirkt in 3,66 mal so kleiner Entfernung, und da die Anziehungskraft zunimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung abnehmen, so zeigt eine einfache Rechnung, daß die Anziehungskraft auf der Oberfläche des Mondes nur etwa $^1/_6$ der auf der Erdoberfläche beobachteten ist. Während demnach ein Körper auf der Erde in der ersten Sekunde durch einen Raum von 15,1 Fuß fällt, legt er auf dem Monde in derselben Zeit nur 2,46 Fuß zurück. Was auf der Erde 6 Pfd. wiegt, drückt auf dem Monde mit dem Gewichte nur eines Pfundes. Wer im stande ist, auf der Erde 1 Ctr. zu heben, vermag auf dem Monde deren 6 ohne größere Anstrengung zu heben. Eine Pendeluhr, von der Erde auf den Mond gebracht, würde 6 mal so langsam gehen, und das Pendel müßte dem entsprechend verkürzt werden, wenn die Uhr mit unseren irdischen Uhren gleichen Schritt halten sollte. Alle Bewegungen, die eine Wirkung der Anziehung sind, würden 6 mal so langsam erfolgen, als wir es auf der Erde gewohnt sind, weil wegen geringerer Anziehungskraft die Schwungkraft oder das Beharrungsvermögen mehr zur Geltung gelangt. Mit derselben Pulverladung würde man auf dem Monde 6 mal so weit zu schießen vermögen, da die geringere Anziehung die fliegende Kugel erst später zur Oberfläche herabzufallen zwänge. Wer hier einen 4 Fuß hohen Sprung zu thun vermöchte, würde auf dem Monde mit demselben Kraftaufwande 24 Fuß hoch springen können etc. etc. Aus diesem wenigen, das sich noch um vieles vermehren ließe, folgt schon, daß auf dem Monde Verhältnisse existiren, die von denen der Erde gar sehr verschieden sind.

8. **Rotation des Mondes.** Wir haben bereits S. 221 ff. gesehen, wie aus dem Umstande, daß der Mond der Erde beständig dieselbe Seite zuwendet, folgt, daß er sich in der Dauer eines siderischen Monats oder in 27 Tg. 7 Stdn. 43 Min. 11,5 Sek. um eine außer ihm befindliche Achse dreht; daß man diese

Achse durch den Brennpunkt der Mondbahn gehend sich vorstellen müsse, in welchem die Erde sich nicht befindet; daß ferner diese Bewegung eine vollkommen gleichmäßige ist, und daß endlich aus diesem letzteren Umstande in Verbindung mit der ungleichmäßig erfolgenden Revolution ein eigenthümliches (scheinbares) Wanken des Mondes sich zeigen muß, wodurch uns allmählich, trotzdem der Mond der Erde stets dieselbe Seite zukehrt, noch $^1/_{20}$ der der Erde abgewandten Seite des Mondes sichtbar wird, so daß nur $^{19}/_{20}$ dieser Seite uns beständig unsichtbar bleiben. Da das am angeführten Orte Gesagte hoffentlich verstanden sein wird, so wollen wir nicht noch einmal auf eine Darstellung der Sache eingehen, sondern uns damit begnügen, die angegebenen Zahlenwerthe hier kurz nebeneinander zu stellen.

Der Mond zeigt eine doppelte Libration, nämlich eine Libration in Breite und eine Libration in Länge. Erstere kann zu jeder Seite des Mondäquators bis 6° 47′, diese bis auf 7° 53′ nach O. und nach W. gehen; es liegen demnach die Punkte, welche zu verschiedenen Zeiten den Mittelpunkt der Mondscheibe einnehmen, in einem sphärischen Rechteck, das 13° 34′ Breite und 15° 46′ Länge hat; doch werden diese äußersten Grenzen nur sehr selten erreicht.

9. **Abplattung des Mondes.** Die verschiedensten Messungen des äquatorialen und polaren Durchmessers des Mondes haben von einer Abplattung bisher nichts gezeigt, und doch muß eine solche, ja sogar eine doppelte Abplattung, bei dem Monde vorhanden sein.

Jedenfalls ist es merkwürdig, daß der Mond der Erde, und wahrscheinlich thun alle Nebenplaneten in Beziehung auf ihren Hauptplaneten dasselbe, beständig dieselbe Seite zukehrt. Die Ursache dieser Erscheinung liegt ohne Zweifel in den Attractions-Verhältnissen zwischen den Haupt- und Nebenplaneten. Da die Masse der Hauptplaneten die der Nebenplaneten bedeutend übertrifft, so mußten jene diese letzteren vollständig abhängig von sich machen. Bleiben wir hier nur bei Erde und Mond stehen! War die Masse des Mondes, wie nicht unwahrscheinlich ist, in den ersten Stadien seiner Entwicklung in einem flüssigen Aggregatzustande, so mußte durch den größeren Zug, den die Erde auf die ihr nächsten Theile des Mondes ausübte, eine Anhäufung der Mondmasse nach der Erde zu erfolgen. Es mußte die ursprüngliche Kugelform des Mondes sich in die eines Ellipsoides verwandeln, und der Mondäquator aus einem Kreise zu einer Ellipse werden, deren große Achse nach der Erde gerichtet ist. Hierbei ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß der Mond früher eine selbständige Rotation besessen; allein eine geringe Zunahme des nach der Erde gerichteten Durchmessers reichte schon hin, in dem Monde die Neigung zu wecken, der Erde beständig dieselbe Seite zuzuwenden. Nach Störung der Kugelform konnte der Mond wegen des Beharrungsvermögens um die den Erd- und Mondmittelpunkt verbindende Linie Schwingungen machen; allein endlich mußte er, wie ein Pendel in der Vertikale, in der gedachten Linie zur Ruhe kommen und seine jetzige Stellung annehmen. Nach dem Gesagten

muß der Mond eine äquatoriale Abplattung besitzen, und man hat dieselbe durch Rechnung zu bestimmen gesucht. Darnach muß die kleine Achse des Aequators eine Länge von 10916800 Fuß, die große hingegen von 10917200 Fuß besitzen, was, auf den Halbmesser bezogen, eine Abplattung von 200 Fuß giebt.

Allein wegen der Rotation des Mondes muß auch eine polare Abplattung desselben vorhanden sein. Nach der Rechnung verhält sich die Rotations-Ache des Mondes zur kleinen Achse des Aequators wie 99891 : 99997, oder die Rotations-Achse hat eine Länge von 10905300 Fuß, wenn die kleine Achse des Aequators die eben angegebene Länge von 10916800 Fuß besitzt. Hiernach würde die polare Abplattung, wieder auf den Halbmesser bezogen, 5750 Fuß betragen. Wegen der eigenthümlichen Massenvertheilung des Mondes und der damit gewiß gleichzeitig bestehenden Ungleichheit der Dichtigkeit in verschiedenen Theilen kann aber die Rotation nicht vollkommen gleichmäßig sein, und hierdurch muß eine kleine Verschiebung der Mondörter in Länge bewirkt werden; diese Verschiebung ist indessen so klein, daß sie nur durch die feinsten Berechnungen nachweisbar ist. Man pflegt sie die physische Libration zu nennen.

10. **Revolution des Mondes.** Die Revolution des Mondes kann nach verschiedenen Rücksichten bestimmt werden, nämlich in Beziehung auf 1) die Fixsterne, 2) den Frühlingspunkt, 3) die Knoten, 4) die Apsidenlinie, 5) die Sonne, und hiernach unterscheidet man 5 verschiedene Monate, den siderischen, tropischen, drakonitischen, anomalistischen und synodischen Monat, über welche S. 221 bereits Näheres gesagt ist; doch ist zu bemerken, daß die dort angegebenen Zahlenwerthe sämtlich nur Mittelwerthe sind, indem die Dauer der Monate kleinen, in längeren oder kürzeren Perioden sich wiederholenden Aenderungen unterworfen ist.

11. **Der Mond im Fernrohr.** Jedem ist bekannt, daß der Mond eine Menge von helleren und dunkleren Flecken zeigt; allein dem unbewaffneten Auge ist es unmöglich, die Einzelheiten des geschauten Bildes deutlich zu unterscheiden. Diese genauere Unterscheidung gelingt aber mit Hilfe eines guten Fernrohres, und wir wollen versuchen, von dem, was man in einem solchen Fernrohr geschaut, zunächst in großen Zügen ein Bild zu entwerfen.

Betrachtet man den Mond zu einer Zeit, in welcher er vom Octanten bis zum ersten Viertel anwächst, so gewährt er einen wunderbaren, interessanten Anblick. Besonders zieht die große Zerrissenheit der Lichtgrenze die Aufmerksamkeit auf sich. Man erblickt leuchtende Punkte außer allem Zusammenhange mit dem hellen Theile des Mondes selbst in der dunklen, nur im Erdlichte dämmernden Seite, während andere durch einen Lichtstreifen von größerer oder geringerer Breite wie durch Lichtbrücken mit jenem hellen Theile verbunden erscheinen. Auffallend sind ferner die in der Nähe hellerer Flecken vorhandenen, sämtlich nach O. gerichteten ganz schwarzen Flecken, von denen manche so lang sind, daß sie in die Schattenseite des Mondes übergreifen. Im allgemeinen werden aber diese schwarzen Flecken um so kürzer, je weiter sie von der Lichtgrenze entfernt sind.

Man gewinnt durch das Ganze die Ueberzeugung, daß der Blick auf einer im ganzen sehr unebenen, bergigen Landschaft ruht, daß jene helleren Flecken Höhen, die schwarzen Flecken aber deren Schatten sind. Die übrige Fläche des Mondes sieht man ebenfalls mit solchen Bergen, außerdem aber auch mit eigenthümlichen, mehr oder weniger kreisförmigen Gebilden bedeckt, die um so länglicher erscheinen, je näher sie dem der Sonne zugekehrten Mondrande stehen. Die große Achse dieser elliptisch gestalteten Formen ist stets von N. nach S. gerichtet, und die ganze Erscheinung fällt so aus, wie man ringförmige Gestalten auf einer Kugel sehen würde. Uebrigens erscheinen alle Theile der Mondfläche mit gleicher Deutlichkeit; eine Schwächung des Lichtes nach den Rändern zu wird durchaus nicht bemerkt.

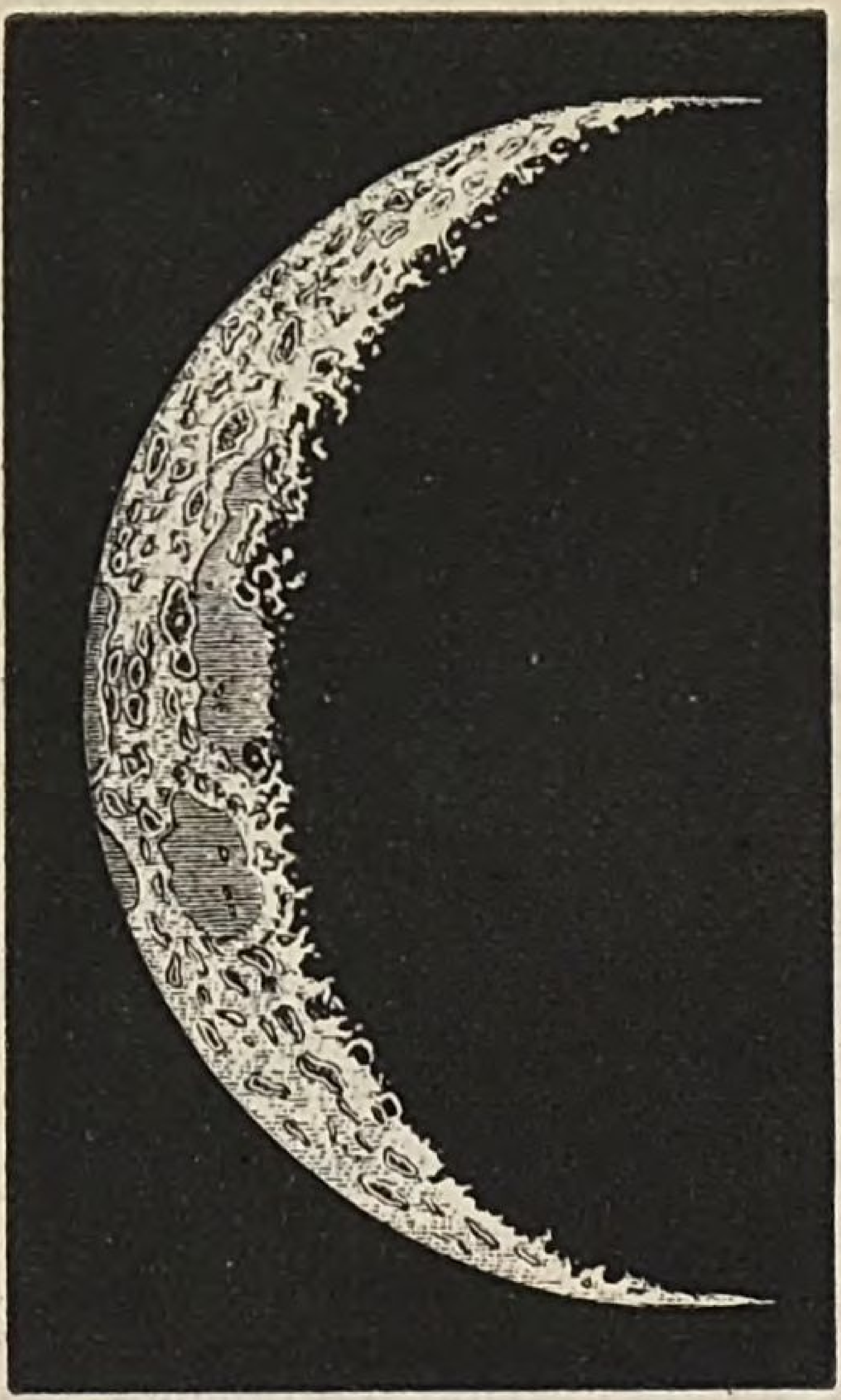
Betrachtet man den Mond am folgenden Tage, so findet man, daß die Lichtgrenze sehr merklich weiter nach O. vorgeschritten ist. Jene hell leuchtenden, vereinzelten Punkte in der Schattenseite des Mondes werden deutlich als Berge an ihrem Schatten erkannt. Der Mondrand aber zeigt eine ähnliche Zerrissenheit, wie am Tage zuvor, nur sind die Flecken anders gruppirt. Die übrigen Landschaften haben sich wenig verändert; doch sind im allgemeinen die Schatten mit der Entfernung von der Lichtgrenze kürzer geworden. Diese Abnahme der Schatten an Länge läßt sich bis zum Anwachsen des Mondes zum Vollmond beobachten, bis sie in diesem gänzlich verschwunden sind. Durch diese Abwesenheit alles Schattens erhält der Mond als Vollmond ein ganz verändertes Ansehen; das Relief, welches er so deutlich in den Vierteln zeigte, ist kaum zu erkennen, und man hat Mühe, gewisse Dinge wiederzuerkennen, die man früher so deutlich gesehen. Es steht nämlich beim Vollmonde die Sonne den im Mittelpunkte der Mondscheibe liegenden Oertern gerade im Zenithe, und es sind daher diese Gegenden, da die Sonne senkrecht auf sie herabscheint, ohne allen Schatten. Indem aber unsere Gesichtslinie zur Zeit des Vollmondes mit der Sonne und Mond verbindenden Centrale fast zusammenfällt, verdecken bei der Kugelgestalt des Mondes die Erhebungen des Bodens und alle senkrecht stehenden Gegenstände ihren nach dem Mondrande zu gerichteten Schatten. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man etwa einen Relief-Globus, der von der Sonne beleuchtet wird, in der Richtung der Sonnenstrahlen in gehöriger Entfernung betrachtet.

Wenn aber im Vollmonde manches früher deutlich Gesehene fast unkenntlich wird, so bieten sich dafür ganz neue Dinge der Betrachtung dar. Man sieht ganze Gegenden in auffallend starkem Lichte glänzen, so daß, namentlich in hellen Winternächten, das Auge kaum den Glanz erträgt, und von anderen Stellen gehen ganze Systeme von glänzenden Strahlen, die sogenannten Strahlensysteme, nach allen Seiten hin radienförmig aus. Es treten Farbenunterschiede hervor, die früher nicht bemerkt wurden.

Zur Zeit des letzten Viertels ist im ganzen das Bild des Mondes dem im ersten Viertel gesehenen ähnlich. Alle Formen der Mondoberfläche treten wegen der Anwesenheit des Schattens wieder deutlicher hervor; nur ist derselbe bei

allen Höhen nicht nach O., sondern nach W. gerichtet. — Um eine ungefähre Vorstellung von dem Bilde des Mondes und namentlich seiner interessanten Lichtgrenze zu geben, zeigt *Fig. 90* den Mond, wie man ihn etwa drei Tage nach dem Neumonde sieht.

Fig. 90.



Was folgt aus dieser oberflächlichen Betrachtung des Mondes? Zuerst so viel, daß der Mond eine Kugel mit einer sehr unebenen Oberfläche ist; daß auf derselben Berge und Thäler mit größeren oder kleineren ebeneren Stellen auf die mannigfaltigste Weise abwechseln. Bei genauerer Betrachtung aber ergiebt sich, daß die Bergformen meist ganz anders gestaltet sind als die Höhen der Erde, indem namentlich die Ringform ungemein häufig ist, und daß endlich die Berge des Mondes eine verhältnismäßig außerordentliche Höhe besitsen.

12. **Höhe der Mondberge.** In dieser letzteren Beziehung, sowie überhaupt über die Topographie des Mondes, verdanken wir *Mädler* den meisten Aufschluß. Er hat im Vereine mit *Beer* im Jahre 1836 eine herrliche, noch unübertroffene Mondkarte in vier Blättern, 3 Fuß im Durchmesser *(Mappa Selenographica)*, und 1837 dazu ein erläuterndes Werk, betitelt: »Der Mond nach seinen kosmischen und individuellen Verhältnissen oder allgemeine vergleichende Selenographie« u. s. w. Berlin bei *Schropp*, herausgegeben, aus welchem Werke man mit Benutzung der genannten Karte den Mond aufs genaueste kennen lernen kann. Um die Kenntnis der Mondoberfläche auch in weitere Kreise zu verbreiten, ist von *Mädler* eine kleinere Mondkarte in einem Blatte (Preis 1 Thlr.) und 1839 eine »kurzgefaßte Beschreibung des Mondes« herausgegeben worden, welches letztere Werk wir, da es das Wissenswertheste über den Mond auf einen kürzeren Raum zusammendrängt, besonders empfehlen. Was in dem Folgenden über die genauere Gestaltung der Mondoberfläche gesagt werden wird, ist, wenn nicht den Worten, so doch dem Inhalte nach vornehmlich aus dieser Quelle geschöpft.

Mehr denn 1000 Höhenpunkte sind auf dem Monde bereits gemessen worden, und von diesen sind 39 höher als der höchste Berg der Alpen, der Montblanc, der eine Höhe von 14700 Fuß besitzt. Die beiden höchsten Mondberge, Dörfel und Leibnitz, fand *Mädler* am Südrande des Mondes nahe dem Pole, und er bestimmte ihre Höhe zu 3800 Toisen, d. i. gleich einer deutschen Meile. Demnach sind die höchsten Berge des im Durchmesser fast 4mal kleineren Mondes nur 600 Toisen = 3600 Fuß niedriger als der höchste Punkt der Erde. Da die höchsten Berge des Mondes eine Höhe besitzen, die gleich $^1/_{234}$

des Mondhalbmessers, der höchste Berg der Erde aber nur $^1/_{720}$ des Erdhalbmessers hoch ist, so sind die Berge des Mondes verhältnismäßig über 3 mal so hoch als die der Erde.

Bei der Erde pflegt man die Höhen von dem Meeresspiegel aus zu bestimmen, und nennt bekanntlich die gewöhnlich in Fußen angegebene Zahl für die Erhebung irgend eines Punktes über den Meeresspiegel die absolute Höhe desselben. Auf dem Monde ist eine derartige Bestimmung unmöglich, indem aus noch anzugebenden Gründen eine große Räume deckende Wassermasse, ja das Wasser überhaupt fehlt. Die Höhe der Mondberge ist darum immer nur die Erhebung über die am Fuße liegende Ebene, und dies ist bei dem Folgenden stets zu beachten.

13. **Messung der Mondberge.** Allein wie ist man im stande, die Höhe der Mondberge zu messen, da man sich doch nicht auf die Oberfläche des Mondes versetzen kann? Laien pflegen bei derartigen Angaben auch wohl ungläubig den Kopf zu schütteln; wer indessen nur einige geometrische Kenntnisse besitzt, wird wenigstens die Möglichkeit solcher Messungen einsehen, wenn er dieselben auch nicht selbst sollte ausführen können. Im allgemeinen giebt es drei Methoden der Messung der Mondberge.

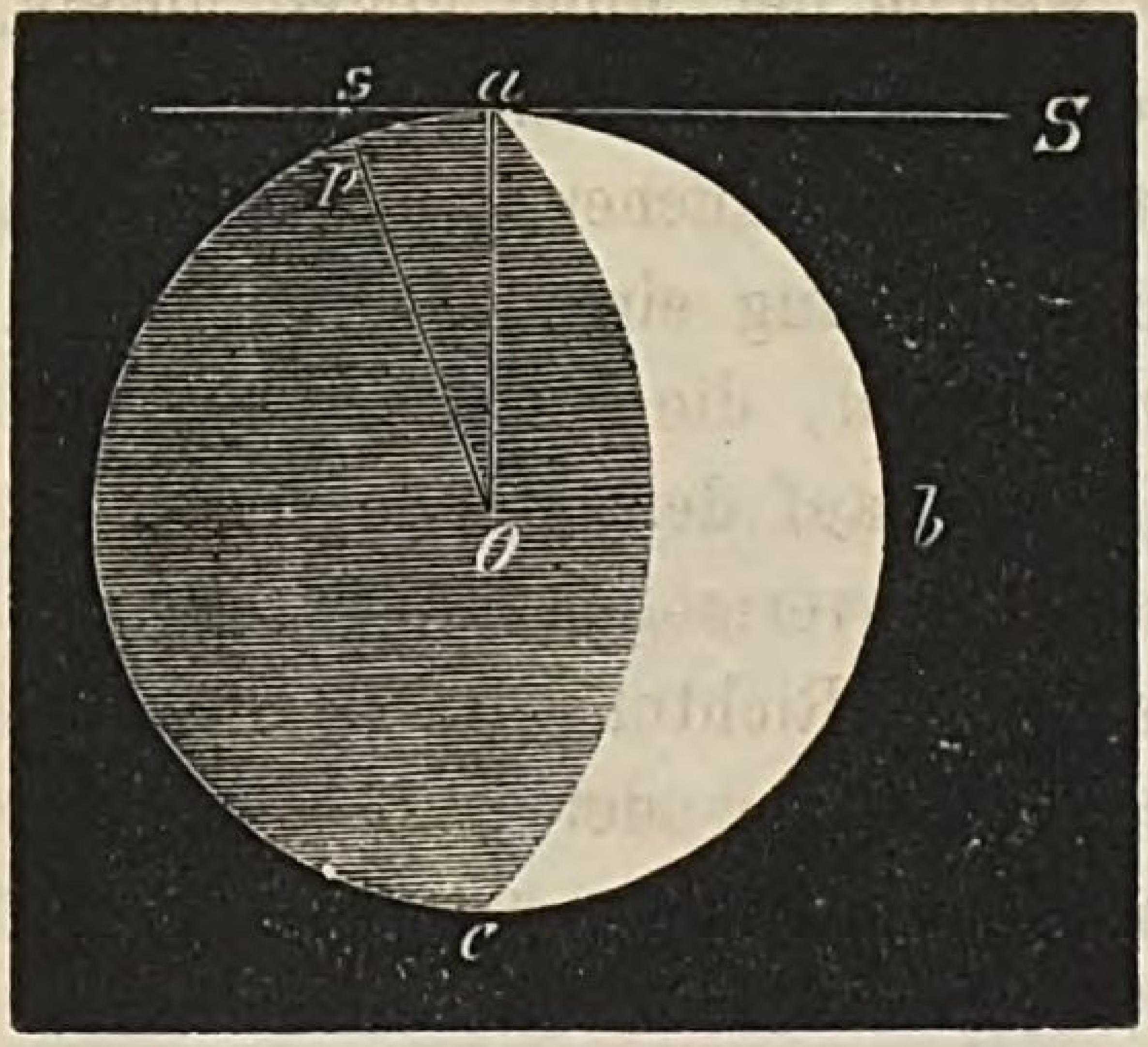
Erste Methode. Ein einfaches Mittel zur Messung bieten die Berge dar, welche sich an dem äußersten Rande des Mondes befinden. Betrachtet man nämlich den Mond mit einem guten Fernrohre, so erscheint jener Rand nicht vollständig glatt, sondern mannigfach aus- und eingebogen, was von den Erhöhungen und Vertiefungen herrührt, die sich gerade an dem Mondrande finden. Besonders deutlich wird der zackige Mondrand bei Sonnenfinsternissen gesehen, wenn die dunkle Mondscheibe vor der hellen Sonne erscheint. Mißt man nun mit dem sogenannten Mikrometer, mit welchem Instrumente man überhaupt kleine Größen am Himmel zu messen pflegt, den Winkel, unter welchem irgend eine Bergspitze am Rande von der anliegenden Ebene aus erscheint, und bestimmt man außerdem die scheinbare Größe des Mondhalbmessers zur Zeit jener Beobachtung: so läßt sich, da ja die wahre Größe des Mondhalbmessers bereits zu 234 geogr. Mln. bekannt ist, aus dem Verhältnis der scheinbaren Bergeshöhe zu der des scheinbaren Halbmessers des Mondes leicht auch die wahre Höhe des Berges berechnen. Hätte man z. B. einen Berg unter einem Winkel von 2″,3 und gleichzeitig den Mondhalbmesser unter einem Winkel von 16′ 30″,6 = 990″,6 gesehen, so ergäbe sich folgende Proportion: 2″,3 : 990″,6 = x Mln. : 234 Mln., woraus sich x, wenn man das Produkt der äußeren Glieder mit dem bekannten inneren Gliede dividirt, zu 0,543 Mln. = 12404 Par. Fuß ergiebt.

In der angegebenen Weise lassen sich indessen nur Berge an den äußersten Rändern des Mondes messen; man würde also nur von einer sehr beschränkten Zahl von Mondbergen die Höhe bestimmen können, obgleich durch die Libration des Mondes allmählich andere Berge an dem Rande erscheinen, wenn es nicht noch andere Methoden der Messung gäbe.

Zweite Methode. Ein geeignetes Mittel zur Höhenmessung bieten ferner Berge in der dunklen Hälfte des Mondes dar, deren Gipfel bereits von der Sonne beschienen werden, während ihr Fuß noch im Schatten liegt. Man findet sie stets in der Nähe der Lichtgrenze, und sie erscheinen theils als kleine Sternchen neben

dem Monde, theils als Lichtpunkte, durch schmale Lichtstreifen mit der erleuchteten Seite des Mondes verbunden. Zunächst sieht man leicht ein, daß ein Berg um so höher sein muß, je weiter sein erleuchteter Gipfel von der Lichtgrenze entfernt ist, und umgekehrt, und aus dieser Entfernung läßt sich mit Hilfe des Pythagoräischen Lehrsatzes leicht die Höhe des Berges bestimmen.

Fig. 91.

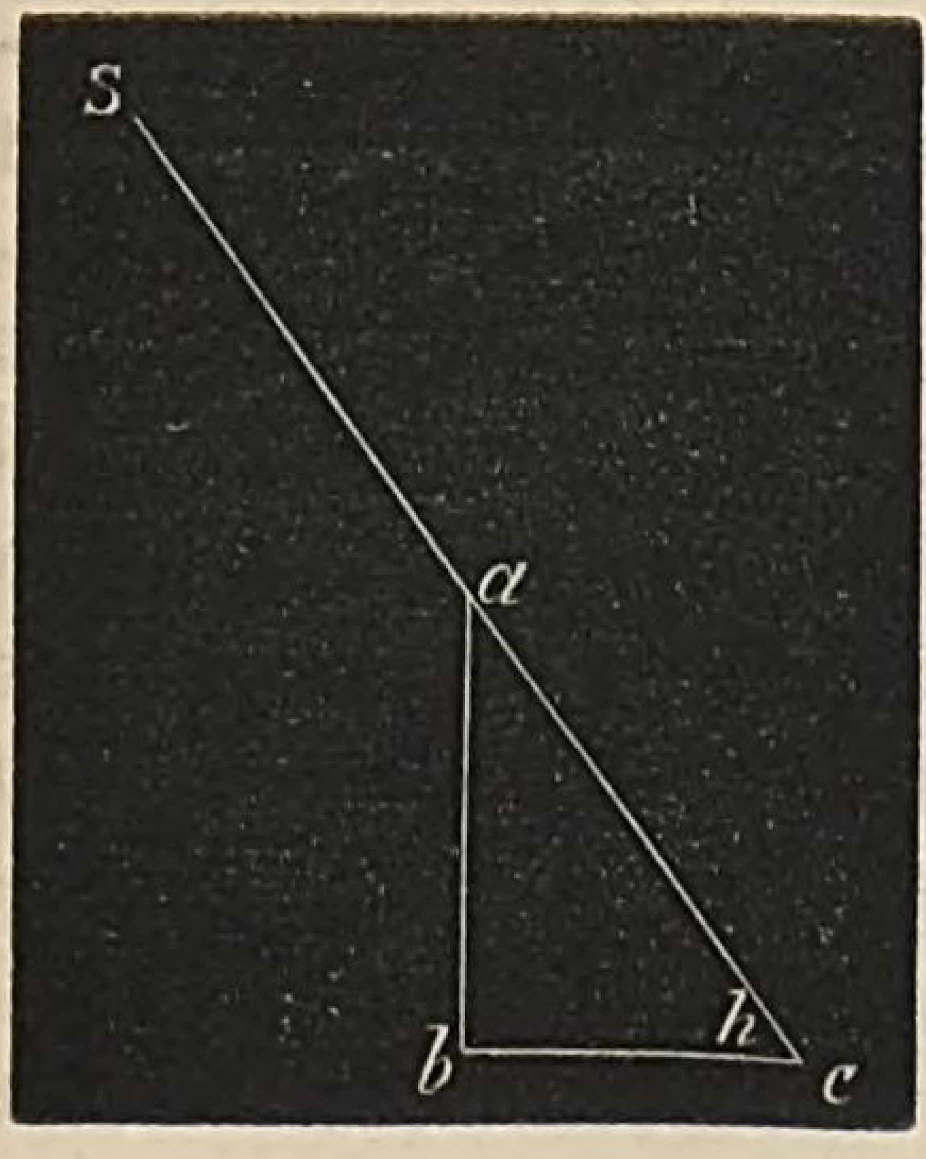


Es sei, *Fig. 91*, *abc* die erleuchtete Sichel des Mondes, und *s* die von der Licht-Tangente *Sas* getroffene Spitze eines Berges. Verbindet man *a* und *s* mit dem Mittelpunkte *o*, so erhält man das rechtwinklige Dreieck *oas*, in welchem *oa* als Halbmesser des Mondes, *as* die Entfernung der erleuchteten Bergspitze von der Lichtgrenze durch Beobachtung bekannt ist. Nach dem Pythagoräischen Lehrsatze ist $oa^2 + as^2 = os^2$; folglich ist $os = \sqrt{oa^2 + as^2}$. Nun ist aber *os* die Summe der Höhe des Berges *ps* und des Mondhalbmessers *op*; zieht man diesen als bekannte Größe von *os* ab, so bleibt *ps*, die gesuchte Höhe des Berges.

Diese Art der Messung läßt sich, wie leicht einzusehen, auch dann anwenden, wenn die erleuchtete Bergspitze nicht, wie in der Zeichnung, vor dem Horn des Mondes liegt. Es muß nämlich stets durch Ziehung der entsprechenden Linien zum Mondmittelpunkte ein rechtwinkliges Dreieck entstehen, dessen Hypothenuse zu bestimmen ist. Durch eine Zeichnung läßt sich die Sache indessen nicht gut anders als geschehen veranschaulichen.

Dritte Methode. Ein drittes Mittel, die Höhe der Mondberge zu messen, bietet der Schatten der letzteren dar, der besonders in der Nähe der Lichtgrenze sehr deutlich wahrzunehmen ist. Es ist eine allgemein bekannte Thatsache, daß die Länge des Schattens, den ein von der Sonne beschienener, senkrecht stehender Gegenstand wirft, von der Sonnenhöhe abhängig ist. Jene Länge ist um so größer, je tiefer, um so kleiner, je höher die Sonne steht. Aus der gemessenen Schattenlänge läßt sich aber bei bekannter Sonnenhöhe die Höhe des den Schatten veranlassenden Gegenstandes leicht finden.

Fig. 92.



Ist z. B., *Fig. 92*, *ab* ein senkrechter Gegenstand, der von der Sonne *s* beschienen wird, so ist das bei *b* rechtwinklige Dreieck *abc* der Schattenraum, und *bc* die Schattenlänge des Gegenstandes. Mißt man nun in dem genannten Dreieck diese Schattenlänge *bc* und den Winkel *h*, der gleich der Sonnenhöhe ist, so sind in dem Dreieck *abc* eine Seite und die beiden anliegenden Winkel bekannt, und somit ist das Dreieck nach Form und Größe bestimmt, und von den Gradmessungen her wissen wir bereits, daß es nun leicht ist, auch die noch nicht bekannten Seiten des genannten Dreiecks, also auch *ab*, die Höhe des Gegenstandes, zu bestimmen.

Will man die Höhe eines Mondberges messen, so hat man mit dem Mikrometer die Länge des Schattens

dieses Berges und außerdem den Winkel zu bestimmen, unter welchem der Berg von der Sonne beschienen wird. Die Bestimmung dieses Winkels, der Sonnenhöhe, hat keine Schwierigkeiten; denn er ist offenbar stets gleich der Entfernung des Berges von der Lichtgrenze. Aus der gemessenen Schattenlänge und der Sonnenhöhe muß sich aber in angedeuteter Weise die Höhe des Berges selbst finden lassen.

14. **Abwesenheit der Atmosphäre und des Wassers auf dem Monde.** Unter den vielen Verschiedenheiten, welche der Mond gegen unsere Erde zeigt, scheint die bedeutendste der Mangel einer Atmosphäre, und darum auch des Wassers zu sein. Auch hierbei schüttelt wohl mancher Laie ungläubig den Kopf, da es doch unmöglich sei, in dieser Beziehung ein sicheres Urtheil zu fällen. — Und doch sind triftige Gründe vorhanden, die für die Abwesenheit der beiden Elemente, der Luft und des Wassers, auf dem Monde sprechen, ohne welche wir uns eine Existenz nicht vorzustellen vermögen.

Jede Gasart hat die Fähigkeit, einen in schräger Richtung durch sie hindurchgehenden Lichtstrahl von seiner Richtung abzulenken oder zu brechen und zugleich einen Theil des Lichtes zu absorbiren, dieses also zu schwächen, und zwar um so mehr, je dichter das Gas ist. Wäre der Mond mit einer Atmosphäre umgeben, so müßte das von seinen Rändern ausgehende Licht, weil es auf dem längsten Wege durch die dichtesten Luftschichten zu unserm Auge kommt, geschwächt werden; die Ränder des Mondes müßten deshalb matter beleuchtet erscheinen als die Mitte desselben, wie man dergleichen an der Sonne, der Venus und anderen Himmelskörpern wahrnimmt. Von einer solchen Schwächung des Lichtes an den Mondrändern wird indessen nicht das Geringste bemerkt, vielmehr sieht man die Mondlandschaften an den Rändern mit gleicher Deutlichkeit, wie die in der Mitte befindlichen. Der Mond kann demnach keine das Licht merklich schwächende Atmosphäre besitzen.

Bei einem Himmelskörper, der von einer Atmosphäre umgeben ist, kann der Uebergang von Tag und Nacht und umgekehrt nicht plötzlich erfolgen; vielmehr muß beim Unter- und Aufgange der Sonne sich eine Dämmerung einstellen, die um so länger währt, je höher die Atmosphäre ist. Von einem fernen Standpunkte aus giebt sich diese Dämmerung dadurch zu erkennen, daß die Lichtgrenze nicht scharf begrenzt, sondern verwaschen erscheint, wie dies z. B. bei Venus beobachtet wird. Bei der Erde hat bekanntlich die Dämmerungszone eine Breite von 18°. Da der Mond keine verwaschene, sondern eine scharf begrenzte Lichtgrenze zeigt, so ist dies ein zweiter Grund, der für die Abwesenheit der Atmosphäre spricht. Zwar erscheint das Licht des Mondes innerhalb des letzten halben Grades nach der Lichtgrenze zu geschwächt; allein diese Schwächung hat nicht in einer trübenden Atmosphäre, sondern in Folgendem ihren Grund. Da die Sonne sich nicht als ein Punkt, sondern als eine Scheibe darstellt, so kann sie unmöglich in einem Momente vollständig aufgehen. Auf der Erde vergehen vom Erscheinen des ersten Sonnenstrahls bis zu dem Augenblicke, da die ganze Scheibe über dem Horizonte steht, durchschnittlich $2^1/_4$ Min., auf dem Monde aber wegen der langsamen Rotation dieses Himmelskörpers

68 Min., und ebenso allmählich sinkt die Sonne am Abend unter den Horizont hinab. Die unmittelbar am Mondrande liegenden Oerter werden nur von einigen wenigen Strahlen der Sonne getroffen, während etwas fernere mehr und mehr von der Sonne, bis zur ganzen Scheibe, sehen. Die Oerter, welche nicht von der ganzen Sonnenscheibe erleuchtet werden, liegen in einem Streifen von $^1/_2{}^0$ Breite nahe der Lichtgrenze. Die in diesem Streifen wahrnehmbare Schwächung des Lichtes ist darum nicht mit einer Dämmerung zu verwechseln.

Auch der Umstand, daß die Schatten der Berge des Mondes nicht grau, sondern vollkommen schwarz erscheinen, so daß von den durch die Schatten bedeckten Gegenden auch nicht das Geringste zu sehen ist, spricht für die Abwesenheit der Atmosphäre auf dem Monde. Wenn wir auf der Erde aus dem hellen Sonnenschein in einen Schattenraum treten, so wird dies von unseren Augen nicht unangenehm empfunden, weil die Schattenräume nicht vollkommen dunkel, sondern verhältnismäßig hell sind, so daß wir die darin befindlichen Gegenstände noch deutlich zu unterscheiden vermögen. Die von der Sonne direkt beschienenen Lufttheilchen nämlich, sowie die in der Atmosphäre schwebenden Wolken und Dünste strahlen das empfangene Licht nach allen Seiten hin aus und erhellen auch diejenigen Schattenräume, in welche nicht durch etwa in der Nähe befindliche, im Sonnenlichte leuchtende Gegenstände Licht reflektirt werden kann. Anders würde es bei der Abwesenheit der Atmosphäre sein. Die Schatten würden vollkommen lichtlos und für jemand, der aus dem Sonnenschein in den Schatten träte, der Wechsel von Licht und Finsternis so plötzlich sein, wie in einem von künstlichen Lichtern erhellten Raume beim Auslöschen dieser Lichter. Ein solcher Zustand scheint auf dem Monde zu herrschen, und dies müßte uns, wenn anders wir auf den Mond versetzt werden könnten, die überschaute Landschaft in der eigenthümlichsten, ungewohntesten Weise erscheinen lassen, wie wir später ein wenig näher ausführen wollen.

Auch die bei Fixsternbedeckungen durch den Mond gemachten Erfahrungen lassen die Abwesenheit der Atmosphäre mehr als wahrscheinlich erscheinen. Solche Sternbedeckungen ereignen sich sehr häufig, in jeder Nacht, und man hat ihnen, da sie für den in Rede stehenden Gegenstand besonders entscheidend sind, eine außerordentliche Aufmerksamkeit zugewendet. Man hat nämlich zur Zeit einer Sternbedeckung durch den Mond durch direkte Messung den Mond-Durchmesser zu bestimmen gesucht und hierrauf berechnet, wie lange der Stern durch die Mondscheibe verdeckt werden müßte, falls keine den Ein- und Austritt des Sterns verzögernde und beschleunigende atmosphärische Hülle vorhanden wäre. Die Vergleichung dieser berechneten Zeit mit der durch unmittelbare Beobachtung bestimmten Dauer des Verweilens des Sterns hinter der Mondscheibe hat keine merkliche Differenz gegeben, woraus folgt, daß das Licht des Sternes nicht von seiner geradlinigen Richtung abgelenkt wird, was doch durch eine Mondatmosphäre geschehen müßte. Es müßte nämlich durch die Refraction des Sternenlichtes in der etwanigen Mondatmosphäre der Eintritt des Sternes hinter die Mondscheibe verspätet, der Austritt aus derselben

verfrüht werden, gerade so wie bei uns auf der Erde durch die irdische Atmosphäre der Untergang der Sonne und der Gestirne verzögert und der Aufgang verfrüht wird. — Außerdem verschwindet ein Stern plötzlich hinter der Mondscheibe, ohne daß zuvor sein Licht geschwächt wird, und ebenso tritt er wieder plötzlich mit ungeschwächtem Lichte hinter der Mondscheibe hervor, was ebenfalls bei dem Vorhandensein einer Atmosphäre nicht geschehen könnte.

Da indessen bei den oben erwähnten Messungen und Beobachtungen ein Fehler möglich ist, so hat *Bessel* die Größe des möglichen Fehlers zu bestimmen und zu berechnen gesucht, wie groß die Dichtigkeit einer etwanigen Mondatmosphäre höchstens sein könnte, ohne daß sich ihre Existenz als zweifellos aus den Beobachtungen ergeben müßte, und er hat gefunden, daß, wenn überhaupt der Mond eine Atmosphäre besitzt, die Dichtigkeit derselben höchstens $^1/_{968}$ der Erdatmosphäre betragen kann. Diese Dichtigkeit ist geringer als die, welche wir mit den vorzüglichsten Luftpumpen hervorzubringen vermögen. Der Druck, den diese Luft auf die Mondoberfläche auszuüben im stande ist, wäre so gering, daß in einem Mondbarometer das Quecksilber nur wenig über $^1/_3$ Linie (0''',347) hoch stehen könnte. Und doch ist mit dem Obigen nicht gesagt, daß selbst eine so dünne Atmosphäre vorhanden ist; es handelt sich hier nicht um Wirklichkeit, sondern nur um eine Grenze der Möglichkeit. Jedenfalls ist, dies folgt aus allem über den Gegenstand Gesagten, falls der Mond überhaupt eine Spur von Atmospäre besitzt, dieselbe so unbedeutend, daß sie als nicht existirend angenommen werden kann; sie kann auf dem Monde die Rolle nicht spielen, welche der irdischen Atmosphäre auf der Erde zuertheilt ist. — Eine ganz andere, aber nicht zu entscheidende Frage ist die, ob der Mond niemals eine Atmosphäre besessen, und wenn, wodurch er sie verloren. Endlich hat auch die Spektral-Analyse des Mondes keine Spur einer Atmosphäre entdecken lassen; denn weder das von verschiedenen Punkten der Mondfläche ausgehende Licht, noch das Spektrum eines Fixsterns, der im begriff war, hinter dem Mondrande zu verschwinden, dessen Licht also durch die dichtesten Theile einer etwanigen Luft- oder Dunstumhüllung hätte gehen müssen, hat Linien gezeigt, wie sie eine solche Umhüllung hätte hervorrufen müssen.

Besitzt aber der Mond keine Atmosphäre, so muß ihm auch, da seine Oberfläche unter keinem Drucke steht, das Wasser, ja jede Flüssigkeit überhaupt fehlen. Hat er dergleichen einmal besessen, so müssen sich alle Flüssigkeiten in Dampf verwandelt haben, und müßte dieser Dampf die Atmosphäre bilden. Nichts einer Wolke Aehnliches ist je auf dem Monde gesehen worden, und doch könnten Wolken, wären sie vorhanden, in den vortrefflichen Fernröhren der Gegenwart nicht verborgen bleiben. Von Wetter nach unseren Begriffen kann darum auf dem Monde nicht die Rede sein. Der wegen mangelnder Atmosphäre schwarze Himmel wird von keinem Wölkchen getrübt; alle unsere atmosphärischen Processe, als Nebel, Regen, Schnee und Hagel,

sind ungekannte Dinge. Kein Luftzug fächelt Kühlung zu; alle Stürme schweigen; kein Morgen- und Abendroth verschönt den düsteren Himmel.

Auch Seen, Flüsse und Meere können auf dem Monde bei dem Mangel des Wassers nicht vorhanden sein; denn was man fälschlich mit dem Namen der Meere benennt, zeigt sich im Fernrohre nicht als eine ebene Fläche, sondern als ein mit den verschiedenartigst gestalteten Unebenheiten bedecktes Terrain. Mit dem Wasser muß aber nach unseren Begriffen den Mondlandschaften etwas Wesentliches zu ihrer Schönheit fehlen, und wie eine Berg und Thal schmückende Vegetation ohne Luft und Wasser sollte ent- und bestehen können, vermögen wir uns nicht vorzustellen. Auf dem Monde bestehen durchaus andere Bedingungen der Existenz als auf der Erde, und auch seine Oberfläche, die wir oben nur in großen Umrissen besprochen haben, zeigt im einzelnen außerordentlich viele Abweichungen von der Gestaltung der Erdoberfläche und Gebilde, die wir nicht zu deuten verstehen, indem uns jeder Gegenstand des Vergleiches mangelt. Ehe wir aber zur näheren Beschreibung der Einzelheiten übergehen, wird es gut sein, noch einige Bemerkungen über die Vergrößerungen der Fernröhre vorauszuschicken, da in dieser Beziehung oft falsche Ansichten verbreitet sind.

15. **Die Vergrößerung durch Fernröhre.** Ohne uns in eine specielle Besprechung der Einrichtung eines gewöhnlichen Fernrohrs einzulassen, darf wohl als bekannt ausgeführt werden, daß die Gegenstände im Fernrohre vergrößert, ferne Dinge scheinbar näher gerückt und dadurch deutlicher gesehen werden. Ein Fernrohr, das 10, 20 ... 100 mal vergrößert, zeigt die durch dasselbe betrachteten Gegenstände unter 10, 20 ... 100fachem Gesichtswinkel, oder es zeigt die Dinge so, als ob man sie aus 10, 20 ... 100 mal so kleiner Entfernung betrachtete. Durch geeignete Construction der zusammengestellten Linsen läßt sich die Vergrößerung bis auf einen sehr hohen Grad treiben, wie man an den sogenannten Mikroscopen sehen kann. Allein zur Betrachtung der Himmelskörper und namentlich des Mondes eignet sich nicht jede Vergrößerung, weil mit der Steigerung der letzteren Uebelstände auftreten, die den durch die Vergrößerung bewirkten Vortheil vollständig wieder aufheben.

So gehört zum deutlichen Sehen vor allem eine hinreichende Menge Licht. Blicken wir den Vollmond in einer heitern Nacht mit bloßen Augen an, so erscheint er uns außerordentlich glänzend, so daß wir kaum seinen Glanz ertragen. Es sendet nämlich jeder Punkt der Mondscheibe eine bestimmte Menge Licht aus; dadurch aber, daß diese Punkte wegen der nicht unbeträchtlichen Entfernung des Mondes von uns zu einer verhältnismäßig kleinen Scheibe von etwa $1/2^0$ Durchmesser zusammenrücken, wird die Gesamtwirkung, der Glanz, ein beträchtlicher. Aus demselben Grunde strahlen die der Sonne fernen Planeten Jupiter und Saturn, obgleich sie von der Sonne nur etwa $1/28$ resp. $1/90$ der Erleuchtung der Erde erfahren, doch als Sterne erster Größe mit großem Glanze. Richtet man aber z. B. ein in der Fläche 100 mal vergrößerndes Fernrohr auf die genannten Himmelskörper, so rücken die einzelnen leuchten-

den Punkte auseinander, und dieselbe Lichtmenge muß nun dazu dienen, eine 100mal so große Fläche zu erleuchten; es muß demnach die Erleuchtung 100mal so schwach erscheinen. Matt erleuchtete Dinge in großer Nähe sieht man aber undeutlicher, als scharf beleuchtete in größerer Ferne. Man wird deshalb einsehen, daß es für jeden beobachteten Gegenstand eine gewisse Grenze der Vergrößerung geben muß, über die hinauszugehen unvortheilhaft ist. Zwar kann man dadurch eine größere Lichtmenge in das Fernrohr bringen, daß man das dem beobachteten Objekte zugekehrte Glas, das Objektivglas, vergrößert; allein wegen bis jetzt nicht zu überwindender technischen Schwierigkeiten ist man nicht im stande, in der Vergrößerung des Objektivglases mit der leicht zu bewirkenden Vergrößerung gleichen Schritt zu halten.

Ein anderer Uebelstand entsteht dadurch, daß mit der Vergrößerung auch die Geschwindigkeit des Himmelskörpers in seiner täglichen Bewegung in demselben Verhältnis wächst. Wendet man z. B. auf den Mond sehr bedeutende Vergrößerungen an, so hat man Mühe, ihn im Fernrohre zu behalten, und wenn es schon seine Schwierigkeit hat, bei ruhigem Instrumente die Dinge im Monde deutlich zu erkennen, so wird es bei fortwährender Bewegung des Bildes noch schwieriger.

Mit der Vergrößerung hält endlich aber auch die Vergrößerung der die Atmosphäre trübenden Dünste gleichen Schritt. Bei zu starker Vergrößerung würden die Dünste das ganze Bild wie in einen Nebel hüllen, die scharfen Umrisse verwischen und so ein deutliches Sehen zur Unmöglichkeit machen.

Am günstigsten pflegt man in unseren Breiten den Mond mit großen Fernröhren bei 300facher Vergrößerung zu sehen. Er wird dann dem Beobachter so nahe gebracht, als ob er ihn aus dem 300sten Theil seiner Entfernung, d. i. in einem Abstande von 172,68 Mln. betrachtete. Ist man nach den Versicherungen der Luftschiffer schon nicht im stande, aus einer nur mehrere Tausende von Fußen betragenden Höhe die unten auf der Erde befindlichen Dinge im einzelnen deutlich von einander zu unterscheiden; stellen sich vielmehr schon aus solchen Höhen die Dinge nur in großen, allgemeinen Umrissen dar: so muß dies in viel höherem Maße bei der angegebenen Vergrößerung mit den Gebilden der Mondoberfläche der Fall sein. Damit in einem 300mal vergrößernden Fernrohre ein Gegenstand unter einem Gesichtswinkel von 1′ erscheine, welcher Winkel zum deutlichen Sehen unter gewöhnlichen Verhältnissen erforderlich ist, muß derselbe einen Durchmesser von 1200 Fuß besitzen; Dinge von kleineren Dimensionen würden nur bei sehr günstiger, greller Beleuchtung deutlich wahrgenommen werden können. Hiernach wird der Mensch darauf verzichten müssen, das kleinste Detail auf der Mondoberfläche zu schauen; seinem geschärften Auge werden sich immer nur größere oder kleinere Massen darstellen. Nach dem Gesagten wird man sich ein Urtheil darüber bilden können, welche Dinge der Erde man etwa mit unseren optischen Instrumenten von dem Monde aus würde sehen können. Nicht zu kleine Inseln würden sich durch ihre andere Beleuchtung von den

großen Wassermassen deutlich unterscheiden lassen, die meisten Städte sich als eigenthümlich beleuchtete Dinge von ihrer Umgebung kenntlich machen, einzelne Bäume, Thiere und Menschen aber schwerlich unterschieden werden können u. s. w.

16. **Beschreibung der einzelnen Gebilde der Mondoberfläche.** Wie auf der Erde, treten auch auf dem Monde zwei Hauptformen des Landes, Tief- und Hochland, deutlich hervor. Ersteres giebt sich schon dem bloßen Auge durch seine mattere Beleuchtung als größere oder kleinere, meist in grauer Farbe erscheinende Fläche zu erkennen, während letzteres durch sein oft glänzendes Licht sich bemerkbar macht. Die alten Astronomen, unter andern auch *Kepler*, hielten, verleitet durch das unklare Bild, welches der Mond ihnen in den damaligen unvollkommenen Fernröhren zeigte, diese matt leuchtenden und verhältnismäßig ebenen Flächen des Mondes für große Wassersammlungen, und nannten sie deshalb Meere, und diese Benennung ist auch jetzt noch üblich, obgleich man aus den angegebenen Gründen von der Nichtexistenz des Wassers auf dem Monde überzeugt ist. Ueberhaupt hat man die meisten der in früherer Zeit entstandenen Namen, obgleich sie unpassend sind, um nicht Verwirrung zu veranlassen, beibehalten. Die jetzt übliche Nomenclatur rührt meist von *Riccioli* her. — Verweilen wir bei der Besprechung der einzelnen Gebilde des Mondes zunächst bei den sogenannten Meeren. Die auf *Tafel II.* beigegebene Mondkarte wird das Gesagte verständlicher machen; sie ist ein umgekehrtes Bild des Mondes, wie dieser in einem astronomischen Fernrohr erscheint.

Die sogenannten Meere des Mondes finden sich meist in dem nordöstlichen Theile der uns zugewandten Mondhälfte und nehmen etwa $^2/_5$ dieser letzteren ein. Mehrere derselben, als das *Mare imbrium*, das *Mare serenitatis*, das *Mare crisium etc.*, lassen sich schon mit bloßen Augen als von helleren Landschaften begrenzte, ziemlich abgerundete Flächen erkennen. Die Farbe der Meere ist, wie schon erwähnt, gewöhnlich die graue; doch zeigt das *Mare crisium* bei genauer Beobachtung in guten Fernröhren ein Grau, mit Dunkelgrün vermischt, sowie das *Mare serenitatis* und das *Mare humorum* ebenfalls eine grünliche Färbung besitzen. Manche dieser Meere stellen sich als ganz abgeschlossene, von Berglandschaften umwallte Becken, gleichsam als Binnenmeere dar, wie besonders das schon genannte *Mare crisium* und das im südöstlichen Theile der Mondfläche liegende *Mare humorum*, während die meisten anderen Meere mehr oder weniger deutlich mit einander in Verbindung stehen und, wie das *Mare nubium* und der *Oceanus procellarum*, unmerklich in die helleren, höheren Mondlandschaften übergehen. Kleinere, buchtenartige Theile dieser Meere hat man, in Vervollständigung des Bildes, Meerbusen oder *Sinus* (besonders interessant ist bei schräger Beleuchtung der im nordöstlichen Theile des *Mare imbrium* gelegene, fast halbkreisförmige *Sinus iridum*), noch kleinere Sümpfe (*Palus*) und Seen (*Lacus*) genannt, wie die erwähnte Mondkarte einige derselben zeigt.

Im allgemeinen ist der Boden der Meere zwar verhältnismäßig eben; bei genauer Beobachtung aber stellen sie sich unebener als die ebensten Stellen der Erde dar. Man sieht in ihnen mehr oder weniger häufig noch zu beschreibende Ringgebirge, Krater und Gruben zerstreut; am häufigsten aber zeigen sie die sogenannten Bergadern, niedrige, oft 60 bis 80 Meilen lange Bergrücken von meist unbedeutender Erhebung. Diese wellenförmigen Erhebungen entstehen gewöhnlich in der Ebene und endigen auch in ihr, ohne sich an vorhandene Gebirge anzuschließen. Da sie sich meist wenig durch hellere Beleuchtung von ihrer Umgebung kenntlich machen, so sind sie schwer sichtbar; nur bei sehr schräger Beleuchtung durch die Sonne verrathen sie sich durch ihre kurzen Schatten, aus welchen man ihre Höhe von 50 bis zu 1000 Fuß gefunden hat, während sie eine Breite von $^1/_2$ bis wenig über 1 Meile besitzen. Meist ziehen sie in sanften Wellenlinien fort, ohne merklich höhere Berge auf ihrem Rücken zu tragen; zuweilen endigen sie indessen mit einem höheren Gipfel, häufiger aber mit einem sogenannten Krater. Die Erde zeigt wenige Bergformen, mit denen die Bergadern des Mondes verglichen werden könnten.

Gebirge des Mondes. Der größte Theil der uns zugewandten, in hellerem Lichte erglänzenden Mondhälfte ist durchaus gebirgiger Natur; allein die Gebirgslandschaften zeigen Formen, die von denen der Erde oft erstaunlich abweichen. Am dichtesten erscheinen Höhen in dem südwestlichen Theile der Mondscheibe zusammengedrängt. Gewöhnlich treten die Höhen in großen, nebeneinander gelagerten Massen auf mit tief eingeschnittenen Thälern und meist dom- und kuppel-, seltener kegelförmig gestalteten Berggipfeln. Solche Bildungen erinnern an die Massengebirge der Erde. Selten aber stellen sie sich auf dem Monde als parallele Gebirgsketten dar, wie sie denn überhaupt wenig Verästelung zeigen. Die Thäler, welche die einzelnen Bergmassen zwischen sich lassen, sind nicht selten grubenähnlich. Zuweilen schließt sich an solche Gebirge des Mondes auch wohl ein mehr oder weniger ebenes oder bergiges Hochland an. Das höchste, und besonders bei schräger Beleuchtung sich interessant gestaltende Gebirge des Mondes sind die Apenninen am südwestlichen Rande des *Mare imbrium*. Es ist das längste Gebirge des Mondes; denn es hat eine Länge von 90 Mln. und fällt nach N.O. steil zur angrenzenden Ebene ab, während sich nach der entgegengesetzten Seite ein weit ausgedehntes Hochland an dasselbe anschließt. Seine höchsten Gipfel erheben sich bis zu 17000 Fuß Höhe, und die Schatten zeigen deutlich, wie steil sich die meisten derselben aus den umgebenden Landschaften erheben. In der Umgebung des genannten Meeres treten ferner im S.O. noch die Karpathen, und im N.W. die Mondalpen auf, welche letzteren von einem breiten Querthal von S.O. nach N.W. durchschnitten werden. Außer den genannten Gebirgen sind auf dem Monde noch viele andere Gebirge von der verschiedensten Gestaltung und Höhe vorhanden, wie der Taurus, die Pyrenäen, der Altai, die dicht am östlichen Mondrande liegenden Cordilleren, die Hercynischen Berge und viele andere.

Häufiger aber als die den Gebirgen der Erde gleichenden Erhebungen sind auf dem Monde ringförmige Bildungen, die zu tausenden seine Oberfläche, namentlich die höheren Landschaften, bedecken und vornehmlich dazu beitragen, den Anblick des Mondes zu einem fremdartigen zu machen. Von der Form dieser Bildungen und ihren wesentlichen Bestandtheilen wird man sich leicht auf folgende genetische Weise eine richtige Vorstellung bilden. Man stelle sich eine zähe, teigähnliche Masse vor, in welcher etwa durch Gährung sich Gase entwickeln. Diese Gase werden zu entweichen streben und an der Oberfläche des Teiges größere oder kleinere blasenförmige Erhebungen emportreiben. Bei genugsam gesteigerter Expansivkraft des Gases wird endlich die kugelförmige Blase zerreißen, die Haut derselben sich wieder in sich selbst zusammenziehen und nun in Form einer ringförmigen Wulst die durch das eingeschlossen gewesene Gas bewirkte grubenähnliche Vertiefung umgeben. Ein solches Gebilde würde also als wesentliche Theile eine grubenähnliche Vertiefung und eine wallartige Umgebung besitzen. Obgleich nun nicht behauptet werden soll, obwohl es wahrscheinlich ist, daß auch bei der Bildung der Mondberge Gase und Dämpfe in der angedeuteten Weise thätig gewesen sind, so haben doch die kaum zählbaren ringförmigen Bildungen der Mondoberfläche mit jenen nach dem Zerreißen der Blasenhaut entstandenen Gebilden eine große Aehnlichkeit. Man ist dabei versucht, an die plutonische und vulkanische Thätigkeit der Erde in früheren Jahrtausenden zu denken, durch welche unser Planet hauptsächlich das Relief seiner Oberfläche erhalten hat. Wären jene Thätigkeiten auf der Erde nicht von den großartigen Wirkungen des Wassers begleitet gewesen; träten vielmehr die ursprünglichen Erhebungsformen noch rein und nicht mit Schutt- und Sandmassen bedeckt hervor: so wäre es möglich, daß die Erdoberfläche Formen zeigte, die von denen der Mondoberfläche weniger verschieden wären, als sie es gegenwärtig sind. Bisher hatte man kein Recht, von vulkanischer Thätigkeit auf dem Monde zu reden, wenigstens schien dieselbe auf ihm seit langer Zeit erloschen, da er seit seiner Beobachtung mit dem Fernrohr keine Spur davon gezeigt hatte. Dies scheint jetzt anders geworden zu sein. Im Herbste 1866 zeigte *C. Schmidt*, Director der Sternwarte zu Athen, in den Sitzungsberichten der naturwissenschaftlichen Klasse der Wiener Akademie an, daß einer der Krater des Mondes nicht mehr existire, und zwar der in 27° 47′ 13″ nördl. Br. und in 11° 32′ 28″ westl. L. am Rande des *Mare serenitatis* gelegene Krater, den *Mädler* Linné genannt hat. Er hatte früher einen hohen, kreisförmigen Wall, der nach innen zu einer großen Tiefe ohne Centralberg abstürzte und nach außen überall von dem grünlichen Grau jenes Mare umgeben war. Jetzt zeigt sich das Ganze viel weniger vertieft, wie aus dem viel kürzeren Schatten hervorgeht, im Innern ein kleiner Centralberg und um das Ganze herum ein weißlicher, unbestimmt begrenzter Fleck. Von den verschiedensten Seiten, von England, Rom, Palermo kamen zustimmende Berichte, die alle versicherten, daß eine Veränderung mit dem Krater vorgegangen sei. *C. Schmidt* kann die beobachtete Veränderung

nicht anders deuten, als daß ein Ausbruch des Kraters stattgefunden haben müsse, ähnlich den Ausbrüchen, durch welche der Mond seine jetzige Oberfläche erhalten habe. Es könne dies aber keine bloße Gaseruption gewesen sein, sondern es müsse der Ausbruch einer flüssigen Masse angenommen werden, und zwar in solcher Quantität, daß nicht nur der Krater ausgefüllt, sondern auch der Ringwall überströmt worden sei und sich die Masse selbst in die umgebende Ebene ergossen habe.

Nach den Erscheinungen, die uns die Erde bietet, kann man kaum anders, als dieser Ansicht beistimmen. Demnach wäre das jugendliche Feuer im Innern des Mondes noch nicht erloschen, wie man bisher glaubte annehmen zu müssen. Die oben mitgetheilte Thatsache hat den Eifer für die Beobachtung der Mondoberfläche neu belebt, und in England hat sich ein Lunar-Comité unter dem Vorsitz von *Birt* gebildet, welches sich die fernere Beobachtung des Linné und anderer Partien der Mondoberfläche, in denen Veränderungen vermuthet werden, zur planmäßigen Aufgabe gemacht hat.

Nach der verschiedenen Größe der ringförmigen Erhebungen des Mondes unterscheidet man dieselben, von den größten zu den kleinsten übergehend, als Wallebenen, Ringgebirge, Krater und Gruben, die wir noch kurz etwas näher betrachten wollen.

Wallebenen. Was zuerst die Wallebenen betrifft, so sind sie wohl als die ältesten Gebilde des Mondes zu betrachten; denn man sieht an ihnen deutlich, daß sie durch andere Formen neuerer Bildung mehr oder weniger modificirt worden sind. Sie bestehen im wesentlichen aus einem oft nicht unbeträchtlich von der Kreisform abweichenden Walle, der eine mehr oder weniger unebene Fläche umschließt. Ihr Durchmesser beträgt 10 bis 30 Meilen. Der Wall besteht gewöhnlich nicht aus einem einfachen Bergkranze, sondern oft aus einem ziemlich verwickelten, kaum entwirrbaren System von Gebirgen und einzelnen Bergen, von denen nach außen hin nicht selten bedeutende Höhenzüge sich abzweigen. Hohe Berggipfel sendet der Hauptwall selten empor. Bei vielen Wallebenen erscheint die eingeschlossene Ebene bei gewisser Beleuchtung als ganz eben; allein dies stellt sich bei fortgesetzter Beobachtung als Täuschung dar. Nicht selten werden die Ebenen von Höhenzügen, wie von Querwällen, durchsetzt, und kraterförmige Vertiefungen, auch wohl vereinzelte Kegelberge in der Mitte der Ebene häufig wahrgenommen.

Am häufigsten treten die Wallebenen in der südlichen Halbkugel auf, wo sie oft viele Grade lang ganze Züge bilden. Der größte Zug befindet sich fast in der Mitte der Mondscheibe. Er beginnt nahe dem Aequator mit dem Hipparch und zieht als Ptolemäus, Arzachel u. s. w. nach N. Weniger zusammenhängende Züge liegen etwa 60° östlich und westlich von dem bezeichneten Zuge. Andere auf der nördlichen Halbkugel liegende Wallebenen wird man auf der bezeichneten Mondkarte leicht auffinden, da sie sich vor den kleineren, noch zu beschreibenden Bildungen durch ihre bedeutendere Größe leicht kenntlich machen.

An der genannten Wallebene Hipparch ist deutlich zu sehen, wie die ursprüngliche Kreisform oft durch spätere, in den Wall tief eingreifende Gebilde bis zur Unkenntlichkeit entstellt worden ist; nur bei seitlicher Beleuchtung ist es möglich, die erste Form der Wallebene an den noch vorhandenen Ueberresten des Walles zu entdecken. Im Vollmonde sieht man gewöhnlich nichts davon. Somit lehren die Wallebenen, daß auf dem Monde zu verschiedenen Zeiten großartige Revolutionen stattgefunden haben müssen, die in die Oberflächengestaltung stark modificirend und zerstörend eingegriffen haben.

Ringgebirge. Die Ringgebirge unterscheiden sich von den Wallebenen vornehmlich durch die geringere Größe, indem sie einen Durchmesser von nur 2 bis 10 Mln. besitzen; außerdem aber zeichnen sie sich durch eine vollkommnere Kreisform vor jenen aus. Ihre Zahl beträgt bei weitem über 1000. Der umschließende Wall erscheint gewöhnlich weniger complicirt als bei den Wallebenen, und besteht meistens nur aus einem Rücken, der oft sowohl nach innen als auch nach außen terrassenförmig abfällt, so daß das Ganze etwa die Form eines Amphitheaters erhält. Zuweilen indessen stürzt der Wall nach innen auch steil zu 12 bis 16000 Fuß tiefen Abgründen ab, Abstürze, wie sie sich von solcher Tiefe auf der Erde kaum finden. Hin und wieder ist der Wall auch durch schluchtenartige Risse zerklüftet, die aber selten bis auf den Boden der umschlossenen Ebene hinabreichen. Diese Ebene liegt fast immer tiefer als die Ebenen, aus welchen sich das Ringgebirge erhebt, und in der Regel sind die kleinsten am tiefsten. Stellt sich der Wall mehr als ein Ring von einzelnen Bergen dar, und liegt die umschlossene Ebene in gleicher Höhe mit der äußeren, so pflegt man solche Berge wohl einen Bergkranz zu nennen.

Aus der von den Ringgebirgen umschlossenen Ebene erhebt sich sehr häufig ein Kegelberg, der Centralberg; sehr selten findet sich in ihr ein Krater, die so häufig auf den Wällen sind. Der Centralberg erreicht nie die Höhe des Walles; oft bleibt er selbst unter der äußeren, das Ringgebirge umschließenden Ebene. Seine Höhe beträgt dessen ungeachtet zuweilen 4000 bis 5000 Fuß, von dem Grunde der Ebene an gerechnet. Ringgebirge finden sich überall auf dem Monde, in Ebenen und Bergländern, in den Wällen der Wallebenen, jene in ihrer Form verändernd, ja selbst in den Wallebenen selbst. Sie drängen sich oft wie Bienenzellen, einander abplattend, zusammen, wie z. B. um den Tycho herum auf der südlichen Halbkugel, wo sie fast ¼ der gesamten Bodenfläche einnehmen. Auf der nördlichen Halbkugel decken sie etwa ein halb so großes Gebiet.

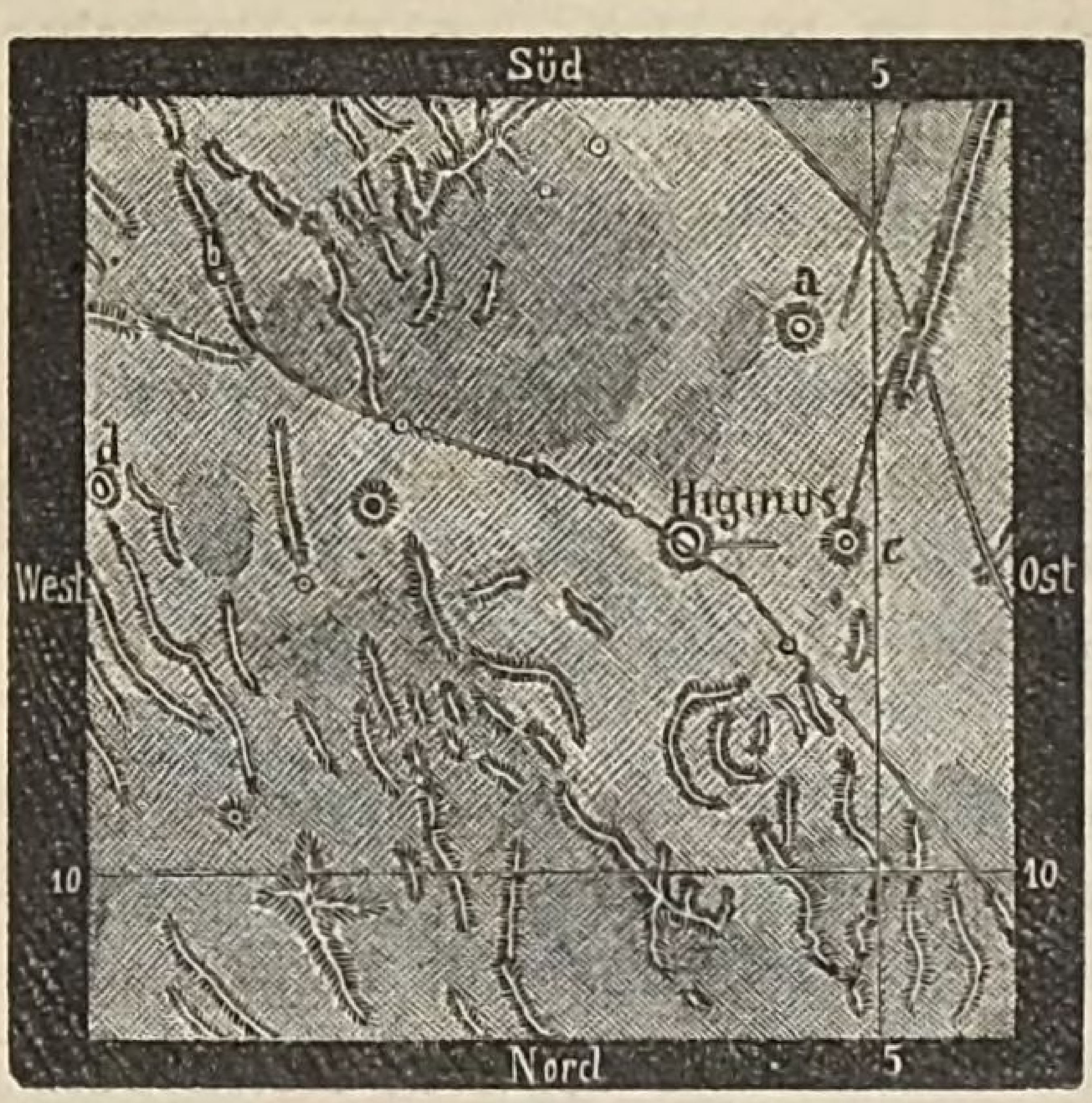
Krater und Gruben. Am häufigsten auf dem Monde sind die Krater und Gruben, deren Anzahl kaum zählbar ist. Sie sind die kleinsten der ringförmigen Bildungen, mit einem Durchmesser von 2 Mln. bis zur Grenze der Sichtbarkeit, c. 1200 Fuß. Krater und Gruben unterscheiden sich vornehmlich dadurch von einander, daß die letzteren keinen deutlich wahrnehmbaren Wall besitzen; ob dieser aber überhaupt einer der besprochenen Einsenkungen fehlt, ist eine noch nicht genau entschiedene Sache. Die Ringe der Krater erscheinen

einfach, ungegliedert und überall von gleicher Höhe; sie stürzen gewöhnlich sehr steil zur umschlossenen Ebene ab, deren Boden aber nur bei sehr hoher Beleuchtung sichtbar wird; denn nicht selten erscheinen sie nur wie dunkle Löcher. Ein Centralberg ist nur selten in ihnen vorhanden. Zuweilen sieht man Krater in mehrfacher Zahl, oft 10 bis 12 wie Perlen aneinandergereiht, und einer solchen Reihe oft mehrere andere ähnliche Reihen parallel ziehen. Sie finden sich überall in erstaunlicher Menge, in Ebenen, auf den Wällen der Wallebenen und Ringgebirge, und sind zuweilen, wie in starken Fernröhren wahrgenommen werden kann, die Ursache der dunkleren Färbung mancher Mondgegenden.

Rillen. Schwer zu deutende und von den bisher beschriebenen Bildungen des Mondes wesentlich verschiedene Dinge sind die sogenannten Rillen, meist in gerader Richtung, gewöhnlich 10 bis 15, ja zuweilen 25 bis 30 Mln. fortziehende Linien, die zur Zeit des Vollmondes als lichte Streifen, bei schräger Beleuchtung in der Nähe der Lichtgrenze als dunkle Linien sich darstellen. Man kennt gegenwärtig etwa 90 derselben. Sie sind jedenfalls Vertiefungen in der Mondoberfläche, wie man an dem schmalen Schatten erkennt, und von wenigstens 2000 Fuß Breite. Der Zeit ihrer Entstehung nach sind sie jünger als die bisher besprochenen Bildungen des Mondes; denn sie setzen durch Wallebenen, Ringgebirge, Krater und Gruben, wenig in ihrer Richtung abgelenkt, mit selbständigen Rändern hinweg. Zuweilen ziehen mehrere derselben in geringen Abständen fast parallel nebeneinander hin und hören oft an nicht besonders markirten Punkten unmerklich auf. Am häufigsten führen sie zu Bergen hinan oder enden in Kratern. Was sind diese räthselhaften Gebilde? Flüsse können es nicht sein; denn sie zeigen keine Verzweigung, und der Mond entbehrt ja auch des Wassers. Sind es Landstraßen? Wozu dient dann die verschwenderische Breite? Nicht unwahrscheinlich ist folgende Deutung. Der englische Chemiker *Duppa* hat darauf aufmerksam gemacht, daß die erstarrten Lavaströme des Vesuvs nicht etwa, wie man vermuthen könnte, in der Mitte ihrer Breite am höchsten sind, sondern vielmehr mit größter Regelmäßigkeit ein flaches, schmales, von zwei parallelen Wällen eingefaßtes Thal bilden. Die Entstehung desselben geschieht einfach dadurch, daß die in der Mitte des Lavastromes sich langsamer abkühlende Lava noch leicht abfließt, während dieselbe an den Rändern bereits erstarrt ist. Da nun auf der Mondoberfläche höchst wahrscheinlich großartige vulkanische Ergüsse stattgefunden haben, so dürften auch ähnliche Thalfurchen, wie bei den Lavaströmen unserer Erde, auf dem Monde vermuthet werden müssen.

Die *Fig. 93* zeigt nach einer von *Mädler* entworfenen Zeichnung eine der am leichtesten wahrnehmbaren Rillen, nämlich die des Kraters Higinus. Sie beginnt nordöstlich an einem länglichen, niedrigen Hügel und ist hier nur ein flaches, gegen 7200 Fuß breites Thal; aber schon nach 2 Mln. Lauf verengert sie sich merklich, zieht durch eine ebene Gegend fort und trifft auf 4 Krater, deren zweiter und größter etwa 9000 Fuß, die übrigen nur 6 bis 7000 Fuß

Fig. 93.



Durchmesser haben. Die Rille hat hier nur 3600 bis 4200 Fuß Breite; allein ihre Steilheit und Tiefe ist so beträchtlich, daß *Mädler* in einem Falle deutlich den Schatten der westlichen Wand als zarte schwarze Linie neben der hellglänzenden östlichen fortziehen sah. Nach 11 Mln. Lauf erreicht sie den fünften und größten Krater Higinus, der ziemlich tief ist und 0,8 Mln. Durchmesser hat. Sie durchzieht ihn dergestalt, daß sie seinen Wall sprengt und durch sein Inneres mit erhöhten Rändern fortgeht, so daß ihre Uferhöhen nirgends unterbrochen werden. Hier verändert die Rille ihre Richtung; zugleich geht vom Ostrande des Higinus eine äußerst feine Rille eine Meile weit östlich ab. Die Hauptrille trifft weiterhin noch fünf Krater, und von S. her treten zwei breite, flache Hügel an ihren Wall. Jenseit des zehnten Kraters wird die Rille breiter, ungleicher, flacher und endet, wie sie begonnen, bei einem länglichen Hügel, an dessen südwestlichem Fuße ein kleiner Krater matt aufdämmert. Die ganze Länge der Rille beträgt etwa 23 Mln., ihre mittlere Breite gegen 4800 Fuß.

Außer der beschriebenen zeigt die Figur noch einige andere Rillen, die wir nicht näher beschreiben wollen.

Strahlensysteme. Bieten schon die Rillen eine schwer zu deutende Erscheinung dar, so ist dies noch weit mehr mit den sogenannten Strahlensystemen des Mondes der Fall, da die Erde nichts zu haben scheint, was auch nur daran erinnern könnte. Sie sind nur um die Zeit des Vollmondes deutlich zu sehen und stellen sich als glänzende, von manchen Ringgebirgen, namentlich von Tycho, Copernikus, Kepler, Aristarch (dem glänzendsten Ringgebirge des Mondes) etc. radienförmig ausgehende Streifen dar, die durch ihr helles Licht alle andern Mondlandschaften überstrahlen. Ihre Zahl scheint sehr groß zu sein; denn von Tycho allein gehen z. B. über 100 dieser räthselhaften Gebilde aus. Gewöhnlich beginnen sie nicht unmittelbar bei dem Rande eines Ringgebirges, sondern erst in einiger Entfernung von demselben, bilden aber, indem ihr Licht zusammenzufließen scheint, um das Ringgebirge einen Nimbus, von dem aus sie meist geradlinig 30 bis 50, ja bisweilen 100 und selbst 120 Meilen weit fortziehen. Selten erscheinen sie krummlinig; zuweilen laufen zwei oder drei mehr oder weniger mit einander parallel, sind auch wohl durch einen Querstreifen mit einander verbunden. Sie setzen über alle Bildungen des Mondes, über Ebenen, Gruben, Krater etc., ohne ihre Richtung zu ändern, hinweg, hören zuweilen plötzlich mit einem Krater oder Ringgebirge auf, oder verlieren sich auch unmerklich durch Schwächung des Lichtes. Uebrigens zeigen sie sich

nur zur Zeit des Vollmondes bei der Abwesenheit der Schatten und verschwinden in dem Maße, in welchem diese sichtbar werden. Sie selbst werfen nie einen Schatten und können somit Erhöhungen nicht sein. Es ist eine schwierige Aufgabe, auch nur eine Deutung dieser Strahlensysteme zu versuchen, weil überhaupt ein Anknüpfungspunkt für dieselben zu fehlen scheint. Man könnte versucht sein, an großartige Lavaströme zu denken, die von ihrer verglaseten Oberfläche in gewisser Beleuchtung ein lebhaftes Licht reflektirten; allein die außerordentlich großartige Ausdehnung der Strahlensysteme in Länge und Breite will wenig zu dieser Vermuthung passen. Man thut daher am besten, von jeder Deutung Abstand zu nehmen.

17. **Erscheinungen auf dem Monde.** Aus der in dem Vorstehenden gegebenen Beschreibung der auf dem Monde bestehenden Verhältnisse und der Gestaltung seiner Oberfläche geht unzweifelhaft hervor, daß die Bedingungen der Existenz lebender Wesen auf dem Monde von den auf der Erde bestehenden außerordentlich verschieden sind; den größten Unterschied zwischen beiden Weltkörpern aber dürfte der Mangel der Atmosphäre und des Wassers auf dem Monde bedingen. Wir Menschen, deren Leben an das Vorhandensein der beiden Elemente der Luft und des Wassers gebunden ist, sind nicht im stande, uns eine Vorstellung davon zu machen, wie Wesen organisirt sein müßten, die der genannten beiden Stoffe entbehren können. Daß aber die Organisation der etwanigen Mondbewohner, und warum sollten sie nicht vorhanden sein, eine von der unsrigen ganz verschiedene sein muß, wird uns noch deutlicher zum Bewußtsein kommen, wenn wir uns, die Möglichkeit des Lebens in unserm jetzigen Leibe vorausgesetzt, in Gedanken für einige Zeit auf den Mond versetzen.

Zuerst würde es uns, sobald wir den Mond zu bereisen versuchten, außerordentlich befremdend sein, mit welcher Leichtigkeit unsere Bewegungen vor sich gingen, wie geringe Kraft wir anzuwenden hätten, um mit gewöhnlicher Geschwindigkeit auf dem Monde fortzuschreiten, und wie große Räume wir mit dem gewohnten Aufwande unserer Kräfte in kurzer Zeit zu durchlaufen vermöchten; denn die Anziehungskraft, die der viel kleinere Mond auf uns ausübte, wäre ja nur $^1/_6$ derjenigen, welcher wir auf der Erde unterworfen sind. Ein Straucheln beim Ersteigen der Mondberge, ja ein Fall in eine Grube von 140 und mehr Fuß Tiefe, dürfte für uns wenig gefährlich sein, da wir erst in der 7ten Sekunde nach dem Anfange des Falls die Geschwindigkeit erlangt hätten, wie auf der Erde am Ende der 1sten Sekunde. Ferner würden wir auch bei der schnellsten Bewegung nicht außer Athem gerathen, da keine Luft vorhanden ist, die wir athmen könnten. Die Lunge wäre also für uns entbehrlich; auch bedürften wir ihrer nicht zum Sprechen und zum Singen, da die Abwesenheit der Luft keine Tonbildung zuläßt und auch keinen etwa hervorgebrachten Schall fortpflanzen kann. Auf dem Monde herrscht die Stille des Grabes! Eine mündliche Unterhaltung durch eine Lautsprache ist unmöglich; denn kein Ton schlägt an das Ohr, und Musik könnte uns nimmer, wie auf der Erde, Genuß verschaffen und uns die langen Tage verkürzen. Das

Gehör wäre uns ein unnützer Sinn, und der Ohren könnten wir füglich entbehren. Auch der Sinn des Geruchs würde nie bethätigt werden, da ihn nur im luftförmigen Zustande befindliche Dinge in Thätigkeit setzen. Die Nase würde uns also weder angenehme noch unangenehme Eindrücke bereiten. Und Aehnliches gälte von der Zunge hinsichtlich des Geschmacks, indem ein Schmecken nur bei Anwesenheit von tropfbaren Flüssigkeiten möglich ist. Der Mond wäre demnach kein angenehmer Aufenthaltsort für Freunde der Mahlzeit, für Gastronomen, weit eher für Astronomen. Drei unserer Sinne, Gehör, Geruch und Geschmack, könnten wir nach dem Bisherigen auf dem Monde entbehren, und die entsprechenden Sinnesorgane wären für uns überflüssig. Durch zwei unserer jetzigen Sinne, durch das Gefühl und das Gesicht, müßte die Kenntnis der Außenwelt für uns vermittelt werden, und noch wäre es die Frage, ob unsere Augen den auf dem Monde bestehenden Lichtverhätnissen angemessen eingerichtet wären. Allein dies zugegeben, so würden doch die uns durch die Augen zugeführten Wahrnehmungen viel Befremdendes für uns haben. Träten wir aus dem hellen Sonnenschein in den Schatten eines Gegenstandes, dem nicht etwa ein anderer gegenüberstände, der sein von der Sonne empfangenes Licht in den Schatten reflektirte, so würden wir dem stärksten Wechsel zwischen Licht und Finsternis ausgesetzt sein: die ganze Landschaft würde plötzlich unseren Augen entschwinden. Das Umgekehrte würde geschehen, wenn wir aus dem Schatten in den Sonnenschein hinausträten. Ständen wir auf dem Walle eines Ringgebirges oder Kraters zu einer Zeit, da diese Gebilde schief von der Sonne beschienen wären, so müßte es uns außerordentlich sonderbar vorkommen, ganze Partien der überschauten Gegend durch den Schatten verdeckt und somit gleichsam aus dem Bilde herausgeschnitten zu sehen. Begäben wir uns, um einen Sonnenaufgang zu sehen, auf einen hohen Berggipfel nahe der Lichtgrenze, so würde die Sonne, ohne ihre Ankunft durch eine Morgendämmerung oder Morgenröthe angekündigt zu haben, mit ihrem obersten Rande plötzlich am Horizonte erscheinen und sich nun in Zeit von etwa 68 Min. mit ihrer ganzen Scheibe langsam über denselben emporheben. Bei ihrem ersten Erscheinen würde plötzlich der Gipfel jenes Berges wie eine Lichtinsel aus dem Meere der Finsternis auftauchen, sich aber mit jedem Augenblicke vergrößern und sich endlich mit anderen ähnlichen Lichtinseln nach O. hin durch schmalere oder breitere Lichtbrücken vereinigen, bis er und die ganze Umgebung in die ganz beleuchtete Gegend eingereiht wären.

Wegen der Kleinheit des Mondes und der damit zusammenhangenden großen Krümmung der Mondoberfläche würde übrigens der Horizont bedeutend kleiner sein als der irdische unter übrigens gleichen Umständen, was uns ebenfalls auffallen müßte; außerdem aber würde die Landschaft dadurch etwas Fremdartiges für uns bekommen, daß sich uns alle Dinge, nahe wie ferne, mit gleich scharfer Beleuchtung darstellten, da wegen der Abwesenheit der Atmosphäre und der trübenden Dünste die fernen Gegenstände nicht wie in Nebel schwimmend erscheinen können. Die Landschaft muß sich im allgemeinen wie ein

chinesisches Gemälde ohne Abstufung der Lichttöne mit der Ferne darstellen. Dieser Mangel der sogenannten Luftperspective würde es uns schwer machen, Entfernungen auf dem Monde abzuschätzen; wir würden uns erst wieder von neuem im Sehen üben müssen.

Aber nicht weniger wunderbar, als der Mond selbst, müßte uns auch der Himmel erscheinen. Nicht wie ein schönes blaues Gewölbe würde er sich über der Landschaft wölben, sondern als eine fast schwarze Decke müßte er sich darstellen, deren Gleichmäßigkeit nie von einem Wölkchen getrübt würde. Auf dem dunklen Hintergrunde müßte die Sonne als eine feurige Kugel sich zeigen, und die Sterne müßten auch bei Tage sich der Betrachtung darbieten. Doch nur sehr langsam würden sie ihre Stellung zum Horizonte verändern; denn erst in der Zeit eines siderischen Monats, in 27 Tg. 7 Stdn. 43 Min. 11,5 Sek., vollendeten sie scheinbar einen Umschwung von O. nach W. Noch langsamer aber würde die Sonne am Himmel fortzuschreiten scheinen. In 24 Stdn. würde sie nicht mehr als 12° 12′ am Himmel zurücklegen, und nicht weniger als 7 Tg. 9 Stdn. 11 Min. 0,7 Sek., die Dauer des Vormittags, würde es auf dem Mondäquator währen, ehe die Sonne vom Horizonte bis zu ihrer Culmination am Himmel heraufgestiegen wäre, und eine gleiche Zeit würde für sie nöthig sein, um während des langen Nachmittags wieder bis zum Horizonte hinabzusinken. Nachdem die Sonne ohne Unterbrechung 14 Tg. 18 Stdn. 22 Min. 1,4 Sek. geschienen, würde die ebenso lange Nacht beginnen, in der an die Stelle der durch mehr denn 14tägige, ununterbrochene Wirksamkeit der Sonne erzeugten großen Wärme eine empfindliche Kälte treten dürfte, um so mehr, da keine Atmosphäre vorhanden ist, die von der Sonne erwärmt werden kann.

Von einem Wechsel der Jahreszeiten, wie wir ihn auf der Erde erleben, kann auf dem Monde kaum die Rede sein, indem sich die Sonne nur sehr wenig von dem Aequator nach N. und nach S. entfernt. Die heiße Zone hat ja nur eine Breite von etwa 3°. Alle Oerter in der Nähe des Aequators werden darum einen beständigen Sommer, die in der Nähe der Pole gelegenen einen beständigen Winter haben. Die etwanigen Aequatorbewohner werden die Sonne in ihrem Mittage fast stets bis zum Zenithe hinaufsteigen sehen, die Polbewohner sie immer nur in der Nähe des Horizontes erblicken. Bewohner einiger hohen Berge in der Nähe der Pole aber würden, wie *Mädler* gezeigt hat, die Sonne nie verschwinden sehen, und sich daher in beständigem Sonnenschein befinden.

Ein besonderes Interesse müßte auf dem Monde der Anblick der Erde gewähren; aber nur auf der der Erde zugekehrten Seite könnte man eines solchen Anblicks theilhaftig werden. Als eine große Scheibe von etwa 2° scheinbarem Durchmesser, oder fast 14 mal so groß als die Mondscheibe im Vollmonde würde sie sich am Himmel zeigen, und zur Zeit ihres vollen Lichtes eine Helligkeit verbreiten, die etwa gleich der 14 fachen derjenigen ist, welche die Erde vom Vollmonde erfährt. Uebrigens kann die der Erde zugekehrte Seite des Mondes keine anderen als erdhelle Nächte haben. Während Sonne

und Sterne ihre Stellung zum Horizonte beständig, wenn auch langsam, ändern, muß die Erde fast unbeweglich, als ein Bild der Ruhe am Himmel erscheinen, das sich zum Horizonte fast gar nicht, zu den Fixsternen täglich etwa um 1^0, in der Dauer eines synodischen Monats um ein Sternbild verschiebt, und erst nach Verlauf eines tropischen Jahres zu denselben Fixsternen zurückkehrt. Von dem Mittelpunkte der uns zugekehrten Mondhälfte muß die Erde im Zenith, von den Rändern aus im Horizonte erscheinen, und bestände nicht die Libration in Länge und Breite, so würde stets derselbe Ort sie im Zenithe, und dieselben Oerter sie in dem Horizonte erblicken, und von einem Auf- und Untergange der Erde gar nicht geredet werden können. Allein die Libration verschiebt für einen Mondort den Ort der Erde in einem Rechteck von 15^0 46′ Länge und 13^0 34′ Breite, und hieraus folgt, daß die Mondörter, welchen die Erde im Laufe der Zeit im Zenithe erscheinen kann, in einem Rechteck von angegebenen Dimensionen zu beiden Seiten des Mondäquators liegen. Für gewisse, in der Nähe der Mondränder gelegene Oerter muß durch die Libration sogar ein Auf- und Untergehen der Erde in engen Grenzen hervorgerufen werden.

Daß die Erde vom Monde aus sich in denselben, nur in den entgegengesetzten Phasen zeigen muß, als in welchen wir von der Erde aus den Mond erblicken, haben wir bereits gelernt; allein an der Erde würde manches anders als an dem Monde erscheinen. Die die Erde einhüllende Atmosphäre würde die volle Erdscheibe als ein bläulicher, nach außen verwaschener Ring von 43″,2 Breite umschließen, und die Lichtgrenze der nicht vollen Scheibe durch einen verwaschenen Streifen, die 18^0 breite Dämmerungszone, allmählich in das Dunkel der Nacht übergehen. Diese Dämmerungszone aber würde sich nicht selten durch die Morgen- oder Abendröthe sanft geröthet zeigen.

Wegen der Abwesenheit der Atmosphäre auf dem Monde sehen wir von der Erde aus alle Mondlandschaften, selbst die an den Rändern gelegenen, mit gleicher Deutlichkeit; dies würde mit der Erde, vom Monde aus gesehen, nicht der Fall sein. Nur nach der Mitte der Erdscheibe zu würde in unseren Fernröhren das Gesehene deutlich erkannt werden können; nach den Rändern zu müßte die das Licht trübende Atmosphäre der Erde alles in Nebel gehüllt erscheinen lassen. Wegen dieses Umstandes dürfte sich die Erde auf dem Monde viel mehr als Kugel darstellen, als der uns stets scheibenförmig erscheinende Mond. — Aber auch die in der irdischen Atmosphäre schwebenden Wolken würden, namentlich zur Zeit weit verbreiteter Landregen oder Gewitter, das Licht der Erde mehrfach trüben und manche Landschaft dem Anblick auf längere oder kürzere Zeit entziehen.

Die verschiedene Beschaffenheit der Erdoberfläche müßte sich auf dem Monde durch die verschiedene Beleuchtung verrathen. Die Meere und Oceane würden wahrscheinlich als dunklere, ziemlich gleichmäßig gefärbte Flächen, die Erdtheile und Inseln im allgemeinen als heller leuchtende Stellen der Erdscheibe erscheinen. Die Erde dürfte als ein ziemlich großer Globus sich dar-

stellen, der sich in je 24 Stdn. 50 Min. einmal von W. nach O. um seine Achse drehte. Diese Zeit könnte genügen, um über die Anzahl der Erdtheile und ihre gegenseitige Gruppirung ins Klare zu kommen. Außerdem dürften die Erdtheile mannigfache Farbentöne zeigen, und einen interessanten Wechsel müßte namentlich auch der Wechsel der Jahreszeiten hervorrufen. Die im Winter fallenden Schneemassen müßten abwechselnd die nördlichen und die südlichen Polarländer in auffallend hellem Lichte erglänzen lassen.

Noch weiter ließe sich das Bild ausführen, welches die Erde einem auf den Mond versetzten Erdenbewohner, oder einem mit (unseren Augen ähnlichen) Sehorganen und Vernunft begabten Mondbewohner (Seleniten) darbieten muß. Ob dergleichen Wesen, die im Uebrigen uns Menschen außerordentlich unähnlich sein müßten (man denke nur an das in Beziehung auf die Sinne Gesagte), auf dem Monde vorhanden sind, wissen wir nicht, und werden es auch wohl nie mit Gewißheit erfahren. Und doch sträubt sich fast das Gefühl dagegen anzunehmen, daß unter der großen Zahl der Welten, von denen gar viele die Erde bedeutend an Größe übertreffen, einzig und allein diese Erde vom Schöpfer sollte ausersehen worden sein, die Wohnstätte lebendiger und vernünftiger Wesen zu sein. Seine Allmacht wird sich auch auf anderen Weltkörpern durch Erschaffung von Wesen verherrlicht haben, die, den hier herrschenden Bedingungen gemäß organisirt, die Fähigkeit besitzen, die sie umgebende Welt mit ihren Wundern wahrzunehmen und den Urheber alles Geschaffenen zu erkennen und zu verehren.

4. Mars ♂.

Unter den Planeten ist Mars dadurch wichtig geworden, daß *Kepler* an ihm die elliptische Form der Bahn und hieraus die bekannten, alle Planeten umfassenden Gesetze erkannt hat, und außerdem dadurch, daß es durch seine Beobachtung im Jahre 1755 zuerst gelungen ist, eine nahezu richtige Sonnenparallaxe und daraus die Entfernung der Sonne von der Erde zu erhalten. Er hat seinen Namen nach dem Kriegsgotte Mars erhalten, und es mag hierzu die röthliche Farbe Veranlassung gegeben haben, in welcher er sich namentlich dem unbewaffneten Auge am Himmel zeigt. Diese rothe Farbe muß in den röthlichen Stoffen ihre Ursache haben, welche seine Oberfläche zusammensetzen, und die von dem empfangenen Sonnenlichte (nach *Zöllner*) 0,7328 absorbiren. Er erscheint darum in verhältnismäßig geringem Glanze; doch ist dieser an den Rändern größer als in der Mitte. Als Zeichen hat man ihm Attribute des Krieges, einen Schild mit einem darüber angebrachten Pfeil, gegeben.

1. Excentricität und Neigung der Bahn. Unter den Bahnen der größeren Planeten besitzt die des Mars nach der Merkursbahn die größte Excentricität; sie beträgt nämlich 0,09326, d. i. etwa $^1/_{11}$ der halben großen Achse seiner Bahn, und sie ist daher $5^1/_2$ mal so groß als die der Erdbahn. Die Ebene der Bahn aber weicht nur wenig von der der letzteren ab; denn die Neigung beträgt nur $1^0\ 58'\ 2'',3$, bei einer jährlichen Aenderung von $-0'',024$.

2. **Entfernung von der Sonne.** Die mittlere Entfernung des Mars von der Sonne ist, die der Erde gleich 1 gesetzt, gleich 1,52369, was, in geographischen Meilen ausgedrückt, nahe 32 mill. Mln. ausmacht. Die größte und die kleinste Entfernung aber sind wegen der großen Excentricität der Bahn sehr verschieden, indem sie sich fast wie 5 : 4 verhalten; die erstere beträgt nämlich 34,45 mill., die letztere nur 28,57 mill. Mln. Das dem Planeten von der Sonne gespendete Licht ist in der mittleren, kleinsten und größten Entfernung resp. 0,43, 0,36 und 0,52 dessen, was die Erde empfängt.

3. **Scheinbare Größe.** Weit beträchtlicher verschieden sind die Abstände, in welche Mars von der Erde gelangt. Zur Zeit seiner Opposition kann er sich derselben bis auf $7^3/_4$ mill. Mln. nähern, in der oberen Conjunction aber sich bis auf 55 mill. Mln. von derselben entfernen. Dies verräth sich auch in dem sehr wechselnden Glanze und in dem veränderlichen scheinbaren Durchmesser des Planeten. So beträgt dieser letztere in der mittleren Entfernung 5″,8 (nach *Mädler* 6″,0); in der größten nimmt er bis auf 3″,5 ab, in der kleinsten aber bis auf 25″,6 zu.

4. **Wahre Größe.** Hieraus folgt bei bekannter Entfernung der wahre Durchmesser des Mars = 0,545 des Erddurchmessers oder = 938 geogr. Meilen. (Nach *Bessel* beträgt derselbe 935, nach *Winnecke* 922 geogr. Mln.). Seine Oberfläche ist daher nur = 0,30 der Erdoberfläche, oder sie ist 3,3 mal in dieser letzteren enthalten, und erst 6,25 Marskugeln haben gleichen körperlichen Inhalt mit der Erde.

Daß Mars nicht Phasen zeigen kann, wie Merkur und Venus, folgt aus dem Umstande, daß seine Bahn außerhalb der Erdbahn liegt. Wegen der verhältnismäßig geringen Entfernung seiner Bahn von der Erdbahn erscheint er aber auch nicht beständig als volle Scheibe, wie die äußeren Planeten; doch weicht er von der vollkommenen Scheibenform (zur Zeit seiner Quadraturen) höchstens so viel ab, wie der Mond 4 Tage vor oder nach dem Vollmonde. Es sind aber gute Fernröhre nöthig, um diese Abweichung deutlich zu sehen. Aus der Lage seiner Bahn zur Erdbahn folgt ferner, daß er auch in Opposition mit der Sonne stehen kann, in welcher Stellung er der Erde im allgemeinen am nächsten kommt, und daher am besten beobachtet werden kann (s. S. 263), besonders wenn er in nördlichen Zeichen steht und dann eine bedeutende Höhe erreicht. Alle 780 Tage kehrt er zur Opposition zurück und ist dann 62 bis 81 Tage rückläufig.

5. **Masse und Dichtigkeit.** In Beziehung auf die Sonne ist die Masse des Mars $= \frac{1}{2994800}$ bestimmt worden. Indessen ist diese Zahl noch der Correction bedürftig, und es wird dazu der dem Mars sehr nahe kommende *de Vico*sche Komet durch die von dem Planeten erlittenen Störungen Veranlassung geben. Ist die oben angegebene Zahl für die Masse richtig, so würde die Dichtigkeit des Mars = 0,737 der Erddichtigkeit oder 4,19 mal so groß als die Dichtigkeit des Wassers sein. Hieraus, sowie unter Berücksichtigung

der Entfernung seiner Oberfläche vom Mittelpunkte würde sich in Beziehung auf die Verhältnisse der Schwere ergeben, daß dieselbe auf dem Mars etwa = $\frac{1}{2,47}$ der auf der Erde beobachteten ist; ein Körper fällt daher an seiner Oberfläche in der 1. Sek. nur 6,1 Fuß.

6. **Rotation, Tageszeiten.** Betrachtet man Mars mit einem guten Fernrohr, so gewahrt man auf ihm verschieden gefärbte hellere und dunklere Flecken, die, wie fortgesetzte Beobachtungen ergeben haben, der festen Oberfläche des Planeten angehören. Aus der regelmäßigen Wiederkehr derselben ist die Rotationszeit des Planeten zu 24 Stdn. 37 Min. 23 Sek. mittlerer Zeit bestimmt worden. In Beziehung auf die Tageszeiten wird also Mars fast gleiche Verhältnisse mit den irdischen zeigen. Die Sonne bewegt sich fast mit derselben scheinbaren Geschwindigkeit von O. nach W. am Himmel, letzteres, da die Rotation des Planeten in gleicher Richtung mit der der Erde, nämlich von W. nach O. erfolgt. Es würde uns also, auf den Mars versetzt, in Beziehung auf die Tageszeiten nur die geringere Helligkeit der Tage auffallen.

Von den Flecken des Mars sind besonders zwei größere, sehr glänzende an den beiden Polen des Planeten merkwürdig, und man hat bemerkt, daß dieselben regelmäßigen Veränderungen hinsichtlich ihrer Größe unterworfen sind, die mit dem Verlauf der dortigen Jahreszeiten in der engsten Beziehung stehen. Während nämlich zur Zeit des dortigen Frühlings und Herbstes, d. i. zu Zeiten, in denen der Aequator des Planeten senkrecht von der Sonne beschienen wird, beide Flecken etwa gleich groß erscheinen, verkleinert sich zu andern Zeiten der Flecken an demjenigen Pole, der gerade seinen Sommer hat, wohingegen gleichzeitig eine Vergrößerung des Fleckens am andern, Winter habenden Pole erfolgt. Wegen der schiefen Stellung, welche die Achse des Mars gegen seine Bahn und zuweilen gegen unsere Gesichtslinie einnimmt, ist zu Zeiten von der Erde aus nur einer dieser Flecken, und zwar der an dem uns zugewandten Pol gelegene, sichtbar. Man pflegt übrigens diese Flecken *Schneeflecken* zu nennen, und in der That wird man unter den genannten Umständen fast gezwungen, an schneeförmige Niederschläge auf dem Mars zu denken, um so mehr, als die Spektralanalyse mit Sicherheit Wasserdampf auf ihm nachgewiesen hat.

Daß die Schneebedeckung der Erde an deren Polen vom Monde aus ähnliche Erscheinungen hervorrufen müßte, haben wir bereits angedeutet. Erinnern uns die beschriebenen Gebilde der Mondoberfläche an *geologische* Verhältnisse der Erde, so zeigt uns Mars, wie kein anderer Planet, ähnliche *meteorologische* Processe wie die Erde. Diese sind aber nur möglich, wenn Mars Wasser und eine Atmosphäre besitzt. Für das Vorhandensein der letzteren spricht der Umstand, daß gewisse Flecken in der Nähe der Ränder verschwinden. Eigenthümlich grünliche Flecken des Mars ist man geneigt für Meere zu halten.

Lange ist an der Abplattung des Mars gezweifelt worden; allein nach *Aragos* genauen Messungen ist dieselbe zu $\frac{1}{38,8}$ und nach noch neueren Untersuchungen zu $^1/_{32}$ des Aequatorial-Halbmessers bestimmt worden.

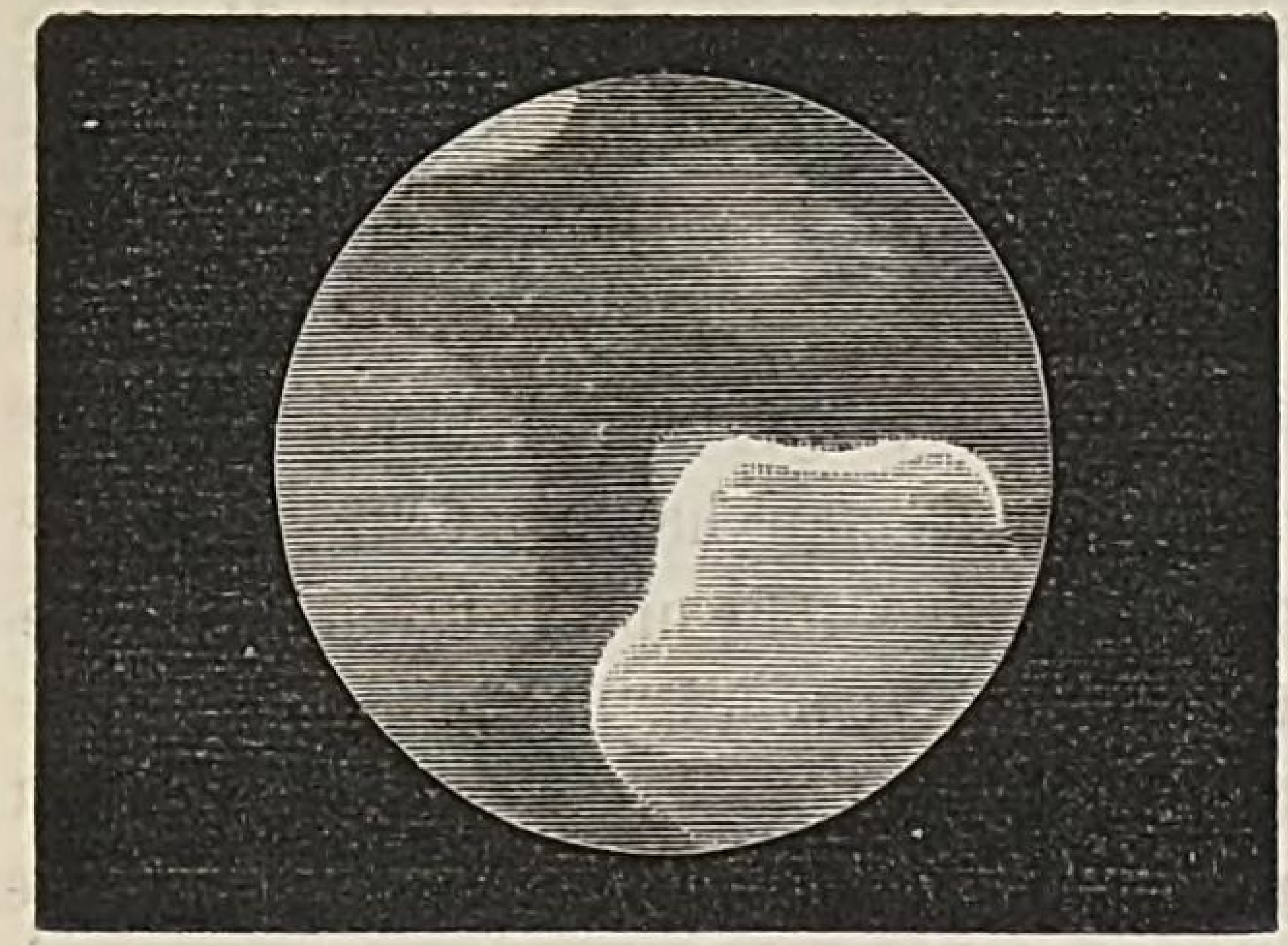
7. **Revolution, Jahreszeiten.** Mars vollendet seine gegen 200 mill. Meilen lange Bahn:

siderisch in 1 Jahr 321 Tg. 17 Stdn. 30 Min. 53 Sek.,
tropisch » 1 » 321 » 16 » 33 » 11 »;

er legt demnach in jeder Sekunde 3,4 Mln. zurück.

Nach *Bessels* Messungen beträgt die Neigung des Aequators zur Ebene der Bahn 27° 16′. Wegen dieser größeren Neigung, andererseits auch wegen der längeren Dauer des Jahres müssen die durch den Wechsel der Jahreszeiten bedingten Verhältnisse auf dem Mars entschiedener ausgeprägt sein als auf der Erde. Die heiße Zone und die kalten Zonen erscheinen bedeutend vergrößert, die gemäßigten aber verkleinert gegen die entsprechenden Zonen der Erde. In der heißen Zone sinkt die Sonne zu geringerer Höhe hinab; für die Polarländer steigt sie zu bedeutenderer Höhe empor. Dies kann nicht ohne Einfluß auf die Wärmeverhältnisse bleiben, und wegen der längeren Dauer jeder einzelnen Jahreszeit wird die Eigenthümlichkeit jeder sich kräftiger ausprägen müssen. Wegen der großen Excentricität der Bahn und der jetzigen Lage des Perihels (333° 17′ 53″,7 Länge mit jährlicher Aenderung von + 66″,24) haben ferner die Jahreszeiten eine ziemlich ungleiche Dauer; so enthält der Frühling der nördlichen Halbkugel 191 Tg., der Sommer 181 Tg., der Herbst 149$^1/_3$ Tg. und der Winter 147 unserer Tage, oder sie sind gleich 6 resp. 5 unserer Erdenmonate. Hieraus folgt ferner, daß die nördliche Halbkugel einen langen, gemäßigten Sommer und einen kurzen, milden Winter, die südliche Halbkugel dagegen einen kurzen, heißen Sommer und einen langen, strengen Winter hat. Diesen Verhältnissen entspricht genau die beobachtete veränderliche Größe der Flecken; denn der Fleck um den Südpol verkleinert sich in seinem Sommer viel mehr, dehnt sich dagegen in seinem Winter viel mehr aus, als der Flecken um den Nordpol. — Zu einer Eintheilung des Marsjahres in Monate werden die etwanigen Bewohner des Planeten keine Veranlassung haben, da derselbe von keinem Monde umkreiset wird.

Fig. 94.



Eine Darstellung des Planeten und seiner Flecken zeigt *Fig. 94.*

B. Die mittleren Planeten.

5. Die Asteroiden.

Eine merkwürdige, namentlich in der neuesten Zeit ein besonderes Interesse in Anspruch nehmende Gruppe von Planeten ist die der Asteroiden, welche wegen ihrer Kleinheit auch wohl Planetoiden genannt werden. Sie müssen als eine besondere, mittlere Gruppe von Planeten angesehen werden, da sie sich von allen übrigen nicht unwesentlich unterscheiden, unter sich aber hinsichtlich ihrer Größe, der Form und Neigung ihrer Bahnen, sowie ihrer Entfernung von der Sonne merkwürdige Uebereinstimmung zeigen, wie S. 286 näher angegeben worden ist.

1. **Ursprung der Asteroiden.** Aber mehr als äußerlich dürfte ihre Zusammengehörigkeit sein. Von mehr als einer Seite ist nämlich die Meinung ausgesprochen worden, unter andern auch von *Olbers*, daß die Asteroiden vielleicht nichts als die Trümmer eines früheren größeren Planeten seien, der durch irgend eine Ursache, sei es durch Zusammenstoß mit einem anderen unbekannten Himmelskörper, oder durch Zersprengung von innen heraus in viele größere und kleinere Theile gewaltsam zerlegt worden sei. Ob diese Ansicht in der Wahrheit begründet oder, wie der jüngere *Herschel* will, nur ein Traum ist, müssen wir dahingestellt sein lassen; merkwürdig aber ist immerhin, daß mehrere der Asteroiden, da sie sich in fast gleichem mittleren Abstande von der Sonne befinden, zu gewissen Zeiten, wenn die Knoten ihrer Bahnen in dieselbe Gegend fallen, einander sehr nahe kommen. *Olbers* fand sich dadurch veranlaßt, in der Nähe der Knoten, wo sich die Bahnen der bis zum Jahre 1804 bekannten Asteroiden Ceres, Pallas, Juno befunden, den Himmel näher zu untersuchen, und war so glücklich, im Jahre 1807 am 29. März noch die Vesta zu entdecken. Wie man zu den ersten Bemühungen, zwischen Mars und Jupiter einen neuen Planeten zu finden, durch die zwischen den beiden letztgenannten Himmelskörpern befindliche große Lücke und das bekannte *Bode*sche Gesetz veranlaßt worden, haben wir bereits an einem andern Orte erwähnt. *Kepler* war der erste, welcher die wahrscheinliche Existenz eines Planeten zwischen Mars und Jupiter bestimmt behauptet hatte.

2. **Zeit der Entdeckung etc.** Bis zum Jahre 1845 ist nach den vier oben genannten Planeten: Ceres, Pallas, Juno, Vesta, kein neuer Planet zwischen Mars und Jupiter aufgefunden worden. Allein mit diesem Jahre beginnt eine neue Aera in der Geschichte der Planeten-Entdeckungen; denn kein Jahr ist seitdem vergangen, ohne uns mit neuen Planeten bekannt gemacht zu haben, und besonders fruchtbar haben sich die Jahre 1852 und 1857 erwiesen, die nicht weniger als acht neue Entdeckungen gebracht haben, und noch reicher waren 1861 und 1868, die sogar mit 10 resp. 12 neuen Funden zu verzeichnen sind.

In der S. 361 folgenden Uebersicht sind die jetzt bekannten 108 Asteroiden

nach der Zeit ihrer Entdeckung zusammengestellt, und zugleich die Entdecker und der Ort der Entdeckung angegeben worden. Anstatt der bei den größeren Planeten üblichen Zeichen pflegt man gegenwärtig die Asteroiden nur durch in einen kleinen Kreis eingeschlossene Ziffern, nach der Zeitfolge der Entdeckung geordnet, zu bezeichnen.

3. **Planmäßiges Verfahren zur Entdeckung.** Es ist sehr unwahrscheinlich, daß mit den nachstehend verzeichneten Asteroiden alle zwischen Mars und Jupiter kreisenden Planeten bereits bekannt sein sollten; vielmehr ist bei der planmäßigen Beobachtung des Himmels, die man in neuerer Zeit behufs der Entdeckung von neuen Planeten begonnen hat, eine fernere Vermehrung der großen Schar zu erwarten. Wenngleich nämlich die Bahnen der Planeten mehr oder weniger von der Ebene der Ekliptik abweichen, so müssen sie doch zu gewissen Zeiten die Ekliptik passiren, und zwar dann, wenn sie durch ihre Knoten gehen. Darum ist man seit einer Reihe von Jahren bemüht gewesen, über die in der Nähe der Ekliptik liegende Zone des Himmels möglichst genaue Sternkarten und Sternkataloge zu entwerfen und darin selbst kleinere, mit bloßen Augen nicht mehr sichtbare Sterne zu verzeichnen. Erwähnenswerth sind besonders die von der Berliner Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Karten. Bereits über 250000 Sterne sind jetzt in denselben verzeichnet und in Katalogen registrirt. Durch fortgesetzte Vergleichung des Himmels mit den genannten Karten ist man leicht im stande, etwa neu erschienene Sterne als solche zu erkennen, und solche, die ihren Ort gegen die anderen Sterne verändert haben, durch ihre Beweglichkeit als Planeten von den Fixsternen zu unterscheiden.

4. **Beschränkte Sichtbarkeit.** Daß durch dieses Verfahren alle Asteroiden bekannt werden sollten, ist nicht mit Sicherheit zu erwarten, da diese Himmelskörper sämtlich von außerordentlicher Kleinheit zu sein scheinen, und diese Kleinheit könnte leicht einen Grad erreichen, daß die betreffenden Körperchen uns beständig unsichtbar bleiben müßten. Die geringe wahre Größe läßt denn auch nur wenige der genannten Körper, eigentlich nur einen, die Vesta, unter günstigen Bedingungen als schwache Lichtpunkte von dem unbewaffneten Auge wahrnehmen, während alle anderen nur telescopisch, 7.—13. Größe sind. Auf den Anblick des gestirnten Himmels sind sie darum von fast gar keinem Einfluß, und es ist besonders die große, ungewöhnlich eng zusammengedrängte Zahl derselben, die sie zu einem interessanten Bestandtheil des Planetensystems macht.

Daß aus den angegebenen Gründen über die näheren topographischen Verhältnisse der einzelnen Planetoiden so gut wie nichts bekannt sein kann, wird man natürlich finden; wir wollen deshalb unter den bei Besprechung der größeren Planeten in Anwendung gewesenen Ueberschriften nur noch einige meist alle Körper der in Rede stehenden Gruppe betreffende Bemerkungen hinzufügen.

Die Asteroiden.

Jetzige Bezeichnung der Planeten.	Namen.	Name des Entdeckers.	Tag der Entdeckung.	Ort der Entdeckung.
(1)	Ceres	Piazzi	1. Januar 1801	Palermo
(2)	Pallas	Olbers	28. März 1802	Bremen
(3)	Juno	Harding	1. September 1804	Lilienthal
(4)	Vesta	Olbers	29. März 1807	Bremen
(5)	Asträa	Hencke	8. December 1845	Driesen
(6)	Hebe	Hencke	1. Juli 1847	Driesen
(7)	Iris	Hind	13. August 1847	London
(8)	Flora	Hind	18. October 1847	London
(9)	Metis	Graham	26. April 1848	Markree (Irland)
(10)	Hygiea	de Gasparis	12. April 1849	Neapel
(11)	Parthenope	de Gasparis	11. Mai 1850	Neapel
(12)	Victoria	Hind	13. September 1850	London
(13)	Egeria	de Gasparis	2. November 1850	Neapel
(14)	Irene	Hind	19. Mai 1851	London
(15)	Eunomia	de Gasparis	29. Juli 1851	Neapel
(16)	Psyche	de Gasparis	17. März 1852	Neapel
(17)	Thetis	Luther	17. April 1852	Bilk b. Düsseldorf
(18)	Melpomene	Hind	24. Juni 1852	London
(19)	Fortuna	Hind	22. August 1852	London
(20)	Massalia	de Gasparis	19. September 1852	Neapel
(21)	Lutetia	Goldschmidt	15. November 1852	Paris
(22)	Kalliope	Hind	16. November 1852	London
(23)	Thalia	Hind	15. December 1852	London
(24)	Themis	de Gasparis	5. April 1853	Neapel
(25)	Phocäa	Chacornac	6. April 1853	Marseille
(26)	Proserpina	Luther	5. Mai 1853	Bilk
(27)	Euterpe	Hind	8. November 1853	London
(28)	Bellona	Luther	1. März 1854	Bilk
(29)	Amphitrite	Marsh	1. März 1854	London
(30)	Urania	Hind	22. Juli 1854	London
(31)	Euphrosyne	Ferguson	2. September 1854	Washington
(32)	Pomona	Goldschmidt	27. October 1854	Paris
(33)	Polyhymnia	Chacornac	28. October 1854	Paris
(34)	Circe	Chacornac	6. April 1855	Paris
(35)	Leukothea	Luther	19. April 1855	Bilk
(36)	Atalante	Goldschmidt	5. October 1855	Paris
(37)	Fides	Luther	5. October 1855	Bilk
(38)	Leda	Chacornac	12. Januar 1856	Paris
(39)	Lätitia	Chacornac	9. Februar 1856	Paris
(40)	Harmonia	Goldschmidt	31. März 1856	Paris
(41)	Daphne	Goldschmidt	22. Mai 1856	Paris
(42)	Isis	Pogson	23. Mai 1856	Oxford
(43)	Ariadne	Pogson	15. April 1857	Oxford
(44)	Nysa	Goldschmidt	27. Mai 1857	Paris
(45)	Eugenia	Goldschmidt	27. Juni 1857	Paris
(46)	Hestia	Pogson	16. August 1857	Oxford
(47)	Aglaja	Luther	15. September 1857	Bilk
(48)	Doris	Goldschmidt	19. September 1857	Paris
(49)	Pales	Goldschmidt	19 September 1857	Paris
(50)	Virginia	Ferguson	4. October 1857	Washington

Jetzige Bezeichnung der Planeten.	Namen.	Name des Entdeckers.	Tag der Entdeckung.	Ort der Entdeckung.
(51)	Nemausa	Laurent	22. Januar 1858	Nismes
(52)	Europa	Goldschmidt	4. Februar 1858	Paris
(53)	Calypso	Luther	4. April 1858	Bilk
(54)	Alexandra	Goldschmidt	10. September 1858	Paris
(55)	Pandora	Searle	10. September 1858	Albany
(56)	Melete (Pseudo-Daphne)	Goldschmidt u. Schubert	September 1857	Paris
(57)	Mnemosyne	Luther	22. September 1859	Bilk
(58)	Concordia	Luther	24. März 1860	Bilk
(59)	Elpis	Chacornac	12. September 1860	Paris
(60)	Danae	Goldschmidt	9. September 1860	Paris
(61)	Echo	Ferguson	14. September 1860	Washington
(62)	Erato	Förster und Lesser	14. September 1860	Berlin
(63)	Ausonia	de Gasparis	11. Februar 1861	Neapel
(64)	Angelina	Tempel	5. März 1861	Marseille
(65)	Cybele	Tempel	9. März 1861	Marseille
(66)	Maja	Tuttle	10. April 1861	Cambridge (Ver. St.)
(67)	Asia	Pogson	17. April 1861	Madras
(68)	Leto	Luther	29. April 1861	Bilk
(69)	Hesperia	Schiaparelli	29. April 1861	Mailand
(70)	Panopäa	Goldschmidt	5. Mai 1861	Paris
(71)	Niobe	Luther	13. August 1861	Bilk
(72)	Feronia	Safford und Peters	29. Mai 1861	Clinton (Ver. St.)
(73)	Clytia	Tuttle durch Rechnung	7. April 1862	Cambridge
(74)	Galatea	Tempel	29. August 1862	Marseille
(75)	Euridice	Peters	22. September 1862	Clinton
(76)	Freja	d'Arrest	21. October 1862	Kopenhagen
(77)	Frigga	Peters	12. November 1862	Clinton
(78)	Diana	Luther	15. März 1863	Bilk
(79)	Eurynome	Watson	14. September 1863	Ann Arbor
(80)	Sappho	Pogson	2. Mai 1864	Madras
(81)	Terpsichore	Tempel	30. September 1864	Marseille
(82)	Alkmene	Luther	27. November 1864	Bilk
(83)	Beatrix	de Gasparis	26. April 1865	Neapel
(84)	Clio	Luther	25. August 1865	Bilk
(85)	Jo	Peters	19. September 1865	Clinton
(86)	Semele	Tietjen	4. Januar 1866	Berlin
(87)	Sylvia	Pogson	16. Mai 1866	Madras
(88)	Thisbe	Peters	15. Juni 1866	Clinton
(89)	Julia	Stephan	6. August 1866	Marseille
(90)	Antiope	Luther	1. October 1866	Bilk
(91)	Aegina	Stephan	4. November 1866	Marseille
(92)	Undina	Peters	7. Juli 1867	Clinton
(93)	Minerva	Watson	24. August 1867	Ann Arbor
(94)	Aurora	Watson	6. September 1867	Ann Arbor
(95)	Arethusa	Luther	23. November 1867	Bilk
(96)	Aegle	Coggia	17. Februar 1868	Marseille
(97)	Clotho	Tempel	17. Februar 1868	Marseille
(98)	Janthe	Peters	18. April 1868	Clinton

Jetzige Bezeichnung der Planeten.	Namen.	Name des Entdeckers.	Tag der Entdeckung.	Ort der Entdeckung.
(99)	Dike	Borelli	28. Mai 1868	Marseille
(100)	Hekate	Watson	11. Juli 1868	Ann Arbor
(101)	Helena	Watson	15. August 1868	Ann Arbor
(102)	Mirjam	Peters	22. August 1868	Clinton
(103)	Hera	Watson	7. September 1868	Ann Arbor
(104)	Clymene	Watson	13. September 1868	Ann Arbor
(105)	Artemis	Watson	16. September 1868	Ann Arbor
(106)	Dione	Watson	10. October 1868	Ann Arbor
(107)	Camilla	Pogson	17. November 1868	Madras
(108)	Hekuba	Luther	2. April 1869	Düsseldorf

5. **Excentricität der Bahnen.** Alle Asteroiden zeichnen sich durch ihre sehr elliptischen Bahnen aus, so daß sie in dieser Beziehung als eine Vermittelung zwischen den größeren Planeten und den luftigen Kometen bildend angesehen werden können, und nach *Alexander* ist es sogar nicht unmöglich, daß die Asteroiden und die Kometen von kurzer Umlaufszeit demselben Bildungsprozesse ihre Entstehung verdanken.

Verhältnismäßig klein: 0,0416, 0,0427, 0,0463, d. i. etwa $^1/_{24}$ bis $^1/_{21}$, erscheinen die Excentricitäten der Concordia, Clytia und Harmonia den Excentricitäten der Bahnen der Euridice, Polyhymnia, Atalante und vor allen der Pallas gegenüber, die nicht weniger als resp. 0,2971, 0,3067, 0,3381, und 0,4401, d. h. weniger als $^1/_3$, ja bei Pallas fast $^1/_2$ der halben großen Achse ihrer Bahn betragen.

Für die übrigen Asteroiden sind die Excentricitäten aus der am Ende des ersten Abschnittes mitgetheilten tabellarischen Uebersicht zu ersehen.

6. **Neigung der Bahnen.** Ebenfalls beträchtlich ist der Winkel, um welchen die Bahnen vieler der Asteroiden gegen die Erdbahn geneigt sind, und auch hierin nähern sie sich den Kometen. Während die Bahnen der älteren Planeten, Merkur ausgenommen, dessen Bahn 7^0 gegen die Ekliptik geneigt ist, Neigungen von höchstens 3^0 zeigen, kommen bei den Asteroiden Neigungen von $21^1/_2{}^0$ (Phocäa), $23^1/_4{}^0$ (Niobe), $26^1/_2{}^0$ (Euphrosyne), ja $34^3/_4{}^0$ (Pallas) vor. Diese Planeten gehen also nicht unbeträchtlich über die Grenzen des Zodiakus hinaus, und rauben somit diesem im Alterthume so wichtigen Gürtel seine frühere Bedeutung.

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen den Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen zu entdecken und sich außerdem über die Lage der Bahnen der Asteroiden im Raume besser zu orientiren, hat namentlich *d'Arrest* diese letzteren Himmelskörper einer genauen Untersuchung unterworfen und die Lage ihrer Bahnen und der Knoten derselben auf den Aequator des Centralkörpers, der Sonne, bezogen. Während hiernach bei den älteren Planeten die Neigungen der Bahnen weniger verschieden und die Knoten einander

nähergerückt erscheinen, ist dies bei den Asteroiden nicht der Fall; es steigen die Neigungen ihrer Bahnen sogar bis über 34°; hinsichtlich der Knoten aber scheinen diese Himmelskörper in mehrere Gruppen unterschieden werden zu müssen, deren Knoten näher bei einander liegen. Eine interessante Erfahrung aber hat sich aus den betreffenden Untersuchungen ergeben, daß nämlich mit einer großen Neigung der Bahn gegen den Sonnen-Aequator auch gewöhnlich eine große Excentricität der Bahn verbunden ist, und wenn es gleich bis jetzt noch nicht gelungen ist, die Ursachen dieser merkwürdigen Abhängigkeit zu erforschen und ein Gesetz in dieser Beziehung aufzufinden, so ist es doch möglich gewesen, eine Formel aufzustellen und durch dieselbe aus den Neigungen die Excentricitäten zu berechnen. Fortgesetzte Untersuchungen werden noch manche interessante Aufschlüsse über die Abhängigkeit der einzelnen Bahnelemente von einander bringen.

7. **Merkwürdige Lage der Bahnen.** Die vielen Bahnen der Asteroiden zeigen hinsichtlich ihrer gegenseitigen Lage eine zuerst von *Olbers* an den Bahnen der vier erst entdeckten Asteroiden erkannte Eigenthümlichkeit. Denkt man sich nämlich die einzelnen Bahnen als körperliche Ringe, so sind dieselben nicht etwa so geordnet, daß die weiteren die engeren umschließen und man im stande wäre, einen nach dem anderen für sich allein zu entfernen, ohne die andern zu berühren; sondern im Gegentheil greifen die Ringe so in einander ein, daß man beim Erfassen des einen Ringes, wenn nicht alle, so doch ganze Gruppen anderer Ringe mit einemmale herausheben würde. Ein solcher zwei große Gruppen umschlingender Ring ist z. B. die Irisbahn. Diese gegenseitige Verschlingung der Bahnen ist so complicirt, daß eine graphische Darstellung aller Planetenbahnen fast zu den Unmöglichkeiten gehört, und auch bei körperlichen Darstellungen durch Drahtringe hat man Mühe, sich in dem Gewirr von Bahnen zu orientiren.

8. **Entfernung von der Sonne und Erde.** Die Entfernung der Asteroiden von der Sonne ist eine ziemlich verschiedene. Was zunächst die mittlere Entfernung betrifft, so hat nach den bis jetzt vorliegenden Resultaten der Rechnung, die bei manchen, namentlich den zuletzt entdeckten Asteroiden, nur sehr ungefähre sein können, Flora den kleinsten Abstand von 2,20138 der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, was 45,53 mill. Mln. gleichkommt, während Sylvia im Perihel eine Entfernung von 3,49271 = 72,23 mill. Mln. besitzt. Der Raum, innerhalb dessen die mittleren Entfernungen sämtlicher Asteroiden liegen, hat demnach eine Breite von 26,70 mill. Mln.

Die kleinste Entfernung von der Sonne beträgt bei Phocäa 36,99, bei Sylvia 66,38 mill. Mln., was eine Differenz von 29,39 mill. Mln. ergiebt, so daß also zwei Kreise, die durch die extremsten Perihelien gehen, um die genannte Größe von einander abstehen.

Die größte Entfernung von der Sonne erreicht Harmonia in 49,07 mill. Meilen, Freja dagegen in 83,18 mill. Mln., so daß hierbei ein Unterschied von 34,11 mill. Mln. besteht. Der letztere Planet bezeichnet also bis jetzt die

äußerste Grenze, bis zu welcher Asteroiden hinausschweifen. Begrenzte man also das Gebiet, innerhalb dessen die Asteroiden sich bewegen, durch zwei Kreise, deren innerster durch den Perihelpunkt der der Sonne am nächsten kommenden Phocäa, und deren äußerster durch den Aphelpunkt der am meisten sich von der Sonne entfernenden Sylvia geht, so würden dieselben 46,19 mill. Mln. von einander abstehen. Ein Kreis, der das ganze Gebiet halbirte, würde demnach $36{,}99 + \frac{46{,}19}{2} = 60{,}08$ mill. Mln. von der Sonne entfernt sein. — Uebrigens sind die Asteroiden in dem bezeichneten Gebiete ungleich vertheilt; im allgemeinen sind sie nach Mars hin dichter gedrängt als nach Jupiter hin.

Aehnliche Differenzen ergeben sich hinsichtlich der Entfernung der Asteroiden von der Erde. Am nächsten kommt derselben Phocäa, wenn ihr Durchgang durch das Perihel zu der Zeit stattfindet, wenn die Erde im Aphel steht; es sind dann beide Körper nur 15,96 mill. Mln. von einander entfernt. Den größten Abstand kann Freja erreichen, wenn ihr Aphel mit dem Perihel der Erde zusammentrifft; die Entfernung kann dann bis auf 103,51 mill. Mln. anwachsen.

9. **Scheinbare und wahre Größe.** — Die große Verschiedenheit der Entfernung von uns muß einen großen Einfluß auf die scheinbare Größe der Asteroiden ausüben. Allein es ist bisher noch nicht möglich gewesen, durch direkte Winkelmessungen in dieser Beziehung zu zuverlässigen Resultaten zu gelangen. Die große Kleinheit der Planetenscheibchen und das unklare Bild, das viele derselben zeigen, macht die Messung des scheinbaren Durchmessers außerordentlich schwierig und unsicher. Dennoch hat man solche Messungen versucht, ist aber zu sehr abweichenden Resultaten gelangt. So fand *Mädler* den scheinbaren Durchmesser der Vesta = 0″,642, was bei diesem Planeten einen wahren Durchmesser von nur 66 geogr. Mln. voraussetzen würde. *Lamont* hat für den scheinbaren Durchmesser der Pallas in der mittleren Entfernung einen Winkel von 0″,55 gefunden, und daraus den wahren zu 145 geogr. Mln. berechnet; für dieselbe Größe indessen hat *Schröter* 450, *Herschel* nur 26½ geogr. Mln. gefunden. Ebenso abweichend bestimmte *Schröter* den wahren Durchmesser der Ceres zu 345, *Herschel* zu nur 35 geogr. Mln. Die Vergleichung der mitgetheilten Zahlen zeigt, wie unzuverlässig die Bestimmung der Größe der Asteroiden durch direkte Messungen des scheinbaren Durchmessers ist. Deshalb hat *Stampfer* in Wien eine photometrische Methode angegeben, um durch Vergleichung der Helligkeit der Asteroiden zu einem genügenderen Resultate zu gelangen. Die Messung der Lichtintensität der größeren, in ihren Durchmessern bekannten Planeten: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, sowie auch Merkur und Venus, hat sehr nahe ein ihrem Durchmesser und ihrer Entfernung entsprechendes Reflexions-Vermögen derselben ergeben, und nur Mars macht hiervon eine Ausnahme, indem er weit mehr Licht absorbirt und verhältnismäßig weniger hell leuchtet als die übrigen Planeten. Unter der Voraussetzung nun, daß die Asteroiden dasselbe Reflexions-Vermögen wie die

Mehrzahl der größeren Planeten besitzen, haben *Argelander*, *Pogson*, Dr. *Bruhns*, *Mädler* u. a. die Durchmesser derselben hergeleitet; die Resultate zeigt folgende Uebersicht nach *Argelander* und *Pogson*, in welcher außer dem wahrscheinlichen Durchmesser auch die Größenklasse berücksichtigt ist, der die Planeten zur Zeit ihrer Opposition zugezählt werden müssen.

Planeten.	Größenklasse.	Durchmesser in g. Mln.	Planeten.	Größenklasse.	Durchmesser in g. Mln.	Planeten.	Größenklasse.	Durchmesser in g. Mln.
Nach Argelander:			Thalia	10,7	9,0	Aglaja	11,4	8,4
			Polyhymnia	11,3	8,2	Doris	11,4	11,6
Vesta	6,5	58,5	Euphrosyne	11,5	11,2	Pales	10,8	9,9
Ceres	7,4	49,0	Nach Pogson:			Virginia	12,4	4,3
Pallas	8,2	34,4				Nemausa	10,4	8,0
Iris	8,3	21,5	Massilia	9,1	15,3	Europa	10,5	15,3
Hebe	8,4	21,5	Lutetia	10,3	9,2	Calypso	11,5	6,2
Eunomia	8,5	25,5	Calliope	10,8	11,3	Alexandra	11,0	6,6
Flora	8,8	13,9	Themis	12,1	7,5	Pandora	10,9	9,4
Juno	8,9	23,0	Phocäa	10,5	7,9	Melete	11,5	6,1
Metis	8,9	16,7	Proserpina	10,8	8,9	Mnemosyne	10,9	13,2
Amphitrite	9,1	18,0	Pomona	11,0	7,6	Concordia	11,6	6,4
Parthenope	9,4	14,0	Leucothea	12,1	5,1	Elpis	11,3	7,5
Melpomene	9,4	11,5	Atalante	12,9	4,4	Echo	12,2	3,5
Egeria	9,4	15,8	Fides	10,7	10,2	Danae	11,7	8,0
Hygiea	9,5	25,5	Leda	10,9	8,4	Erato	11,8	8,5
Fortuna	9,5	13,3	Laetitia	8,6	27,3	Ausonia	9,9	10,4
Irene	9,6	14,8	Harmonia	9,1	22,2	Angelina	10,3	11,6
Urania	9,7	11,3	Isis	10,9	5,6	Cybele	11,3	13,6
Psyche	9,6	20,0	Circe	11,5	4,9	Maja	12,7	3,7
Astraea	9,8	13,0	Daphne	10,2	9,4	Asia	11,6	4,8
Victoria	10,0	11,5	Ariadne	10,0	7,8	Leto	10,3	12,2
Euterpe	10,2	8,7	Nysa	10,7	9,6	Hesperia	12,0	7,3
Bellona	10,3	13,0	Eugenia	11,6	6,4	Panopaea	11,1	7,6
Thetis	10,6	8,1	Hestia	12,5	3,3	Niobe	10,8	9,8

Aus dieser Uebersicht ersieht man, daß die Asteroiden sämtlich sehr kleine Körper sind. Interessant ist der Umstand, daß, wenn man dieselben nach der Zeit ihrer Entdeckung ordnet, je 10 derselben zu einer Gruppe zusammenfaßt und nun den durchschnittlichen Durchmesser berechnet, sich fast eine stetige Abnahme desselben herausstellt, wie die folgende von *Littrow* aufgestellte Uebersicht ergiebt:

1. Gruppe mittl. Durchm. = 28 g. Mln.
2. » » » = 15 » »
3. » » » = 11 » »
4. » » » = 11 » »
5. » » » = 8 » »
6. » » » = 8 » »
7. » » » = 9 » »

Die Entdeckung fernerer Körper dieser Planetengruppe scheint also immer schwieriger zu werden.

10. **Masse und Dichtigkeit.** Auf genaue Massen- und Dichtigkeits-Bestimmungen der Asteroiden wird man wahrscheinlich für immer verzichten müssen, da ihre Masse zu klein ist, um sich durch namhafte Störungen bemerklich zu machen. Darum ist auch über die Schwerverhältnisse auf diesen Körperchen wenig zu sagen. Hätte z. B. Vesta gleiche Dichtigkeit mit der Erde, und ist die Bestimmung ihres Durchmessers zu ca. 60 g. Mln. richtig, so ist an ihrer Oberfläche die Schwere nur $^1/_{30}$ der der Erde; ein Pfund drückt dort nur mit dem Gewicht eines Lothes. Ein fallender Körper würde in der ersten Sekunde nur 6 Zoll zurücklegen, und das Sekundenpendel nur $1^1/_4$ Zoll lang sein u. s. w. Und dies gölte für einen der größten Körper der Gruppe! Die Verhältnisse auf den kleinsten von vielleicht kaum 4 Mln. Durchmesser sich auszumalen überlassen wir dem Leser.

11. **Rotation.** Ob die Asteroiden um ihre Achse rotiren, hat sich nicht ermitteln lassen; indessen könnten hierüber vielleicht die mehreren derselben eigenthümlichen und wiederkehrenden Lichtveränderungen einst Aufschluß geben. So zeigt z. B. Ceres häufige Abwechselungen in ihrem Glanze; denn während sie zu manchen Zeiten röthlich und hell erscheint, so daß sie unter günstigen Verhältnissen mit bloßen Augen gesehen werden kann, zeigt sie sich zu andern Zeiten in einem matten, weißen Lichte, so daß sie nur in Fernröhren wahrnehmbar ist. Noch merkwürdiger ist der Lichtwechsel bei der kleinen Vesta. Bisweilen leuchtet sie in einem Glanze, der an das Licht der Fixsterne erinnert und sie als einen Stern der sechsten Größe dem bloßen Auge sichtbar macht. Auch mehrere der neueren Asteroiden zeigen ähnliche Abwechselungen in der Lichtstärke.

Was die großen Atmosphären betrifft, die manche Beobachter bei mehreren der Asteroiden, namentlich bei Ceres und Pallas, als diesen Planeten zu manchen Zeiten umschließende Nebelhüllen gesehen haben wollen, so sind dieselben in den neueren, vollkommneren Instrumenten gänzlich verschwunden.

12. **Revolution.** Bei der großen Verschiedenheit der Entfernungen von der Sonne und der sehr ungleichen Größe der Bahnen muß die Zeit eines Umschwungs um die Sonne bei den verschiedenen Asteroiden natürlich eine sehr verschiedene sein, und in der That ist das Jahr der der Sonne nächsten dieser Körper kaum die Hälfte des der fernsten derselben. Denn Flora schwingt sich schon in 1193,01 Tg., Sylvia erst in 2384,19 Tg. um die Sonne. Von allen 108 Umlaufszeiten liegen 30 zwischen 3 und 4 Jahren, 52 zwischen 4 und 5 Jahren, 21 zwischen 5 und 6 Jahren, 3 zwischen 6 und 7 Jahren.

Ebenso ist die mittlere Geschwindigkeit, mit der die einzelnen Asteroiden in ihrer Bahn fortschreiten, eine verschiedene; denn während Flora in 1 Sek. 2,78 Mln. durchläuft, schreitet Sylvia nur 2,30 Mln. fort. Es müssen darum Jahrtausende vergehen, ehe die Asteroiden wieder ihre heutige Stellung zu einander einnehmen. Das Mittel aus allen Bahngeschwindigkeiten beträgt 2,5 geogr. Mln.

C. Die äußeren Planeten.

6. Jupiter und seine vier Monde.

I. Jupiter ♃.

Mit diesem größten aller Planeten, nach dem Hauptgotte der Griechen benannt, dessen Zeichen ♃ aus dem Anfangsbuchstaben des Wortes »Zeus« entstanden sein soll, beginnt die Gruppe der äußeren Planeten, die sich von den bisher betrachteten in vielen Beziehungen so auffallend unterscheiden; namentlich sind, wie wir uns erinnern, die bedeutende Größe bei geringer Dichtigkeit, die große Rotationsgeschwindigkeit und die dadurch hervorgerufene starke Abplattung, und endlich der Reichthum an umkreisenden Monden charakteristische Merkmale der einzelnen Glieder dieser Planetengruppe. Besonders ist es der Reichthum an Satelliten, der sie zu den interessantesten Körpern des ganzen Sonnensystems macht, indem sie als Partialsysteme ein Bild jenes großen Systems darbieten. Hätte man zur Zeit des *Copernikus* diese kleinen Systeme in Fernröhren schauen können, gewiß hätte die neue Lehre des berühmten Mannes gläubigere Anhänger gefunden. Wenden wir uns jedoch zu dem Jupiter zurück!

1. **Excentricität und Neigung der Bahn.** Die Bahn Jupiters weicht nur wenig vom Kreise ab; denn die Excentricität derselben beträgt nur 0,04824, d. h. noch nicht $^1/_{20}$ der halben großen Achse. Ebenso ist die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik nur gering, indem dieselbe nur 1° 18′ 51″,6 beträgt.

2. **Entfernung von der Sonne.** Jupiter steht in seiner mittleren Entfernung 5,20279 Sonnenweiten oder $107^1/_2$ mill. Mln. von der Sonne ab. In seinem Perihelio nähert er sich der letzteren bis auf 102,4 mill. Mln., wohingegen er sich in seinem Aphelio bis auf 112,8 mill. Mln. von der Sonne entfernt. Die kleinste Entfernung von der Erde beträgt zur Zeit seiner Opposition mit der Sonne 81 mill. Mln., die größte bei seiner Conjunction 134 mill. Meilen. Da sein Perihel in 11° 54′ 53″ liegt (jährl. Aenderung + 56″,69), so kommt er der Erde am nächsten, wenn er am 4. Octbr. in Opposition steht.

3. **Scheinbare Größe.** Jupiter strahlt in seinem gelblichen Lichte stets als ein Stern erster Größe, und übertrifft zur Zeit seines größten Glanzes alle Fixsterne erster Größe. Er ist deshalb eine wahre Zierde des Himmels und bietet in guten Fernröhren mit seinen vier Satelliten einen herrlichen Anblick dar. Er erscheint dann ganz deutlich als eine etwas längliche Scheibe, deren größter (Aequatorial-) Durchmesser im Mittel unter einem Winkel von 38″,34 erscheint. Der kleinste scheinbare Durchmesser beträgt nur 30″,8, der größte aber 50″,7; diese letztere Größe erreicht er aber nur dann, wenn er zur Zeit seiner Opposition mit der Sonne zugleich auch in seinem Perihel steht.

4. **Wahre Größe, Abplattung.** Aus der angegebenen scheinbaren Größe und Entfernung ergiebt sich die Länge des mittleren wahren Durchmessers, d. h. des Durchmessers, den Jupiter haben würde, wenn seine Masse eine vollkommene Kugel bildete, = 11,228 Erddurchmessern oder = 19299 geogr. Meilen. Wegen der starken Abplattung Jupiters sind der Aequatorial-Durchmesser und seine Rotationsachse von dieser Größe nicht unbeträchtlich verschieden. Ist die von *Struve* und *Secchi* angegebene Abplattung $= \frac{1}{14,2}$ richtig, so hat der Aequatorial-Durchmesser eine Länge von 20004, die Achse von 18595 geogr. Meilen. Indessen sind diese Größen noch zweifelhaft; denn nach *Herschel* beträgt die Abplattung $\frac{1}{15}$, nach *Arago* nur $\frac{1}{17,7}$, und nach *Beer* und *Mädler* gar nur zwischen $\frac{1}{18,7}$ und $\frac{1}{21,8}$.

Die Oberfläche Jupiters ist 129,3, sein Volumen 1469,8 mal so groß als die entsprechenden Größen der Erde. In der Sonnenoberfläche ist die Jupiters 97 mal, in dem Volumen der Sonne das seinige 962 mal enthalten.

5. **Masse und Dichtigkeit.** Zur Bestimmung der Masse Jupiters haben besonders die Störungen gedient, welche dieser mächtige Planet in dem Laufe der kleinen Asteroiden hervorgebracht hat. Die Rechnung hat für ihn eine große Masse ergeben. Diese ist nämlich nach *Bessel* $= \frac{1}{1046,7}$, nach *Leverrier* $= \frac{1}{1047,9}$ der Sonnenmasse gefunden worden. Da die Erdmasse nur $\frac{1}{359551}$ der Sonnenmasse ist, so übertrifft Jupiter die Erde 343 mal, nach *Leverrier* 338 mal an Masse. Eine solche Zahl von Erden würde also erst einer Jupiterskugel das Gleichgewicht halten. — Aus dem Gesagten geht hervor, daß Jupiter nicht nur alle einzelnen Planeten an Masse übertrifft, sondern daß er selbst mehr Masse besitzt (fast das Dreifache), als alle andern Planeten zusammengenommen. Wenn die Sonne zufällig aus dem Planetensystem verschwände, so würde er der Centralkörper werden und alle Glieder des Systems zwingen, ihn zu umkreisen. Allein weil seine Masse der der Sonne doch noch bedeutend nachsteht, so würde die Bahngeschwindigkeit aller Planeten eine bedeutend langsamere und dem entsprechend die Umlaufszeit eine größere werden. Nach *Mädlers* Berechnung würde z. B. die Erde nicht weniger als 380 Jahre gebrauchen, um in derselben Entfernung wie jetzt von der Sonne einen Umlauf um den neuen Centralkörper zu vollenden.

Die große Masse Jupiters muß auf seiner Oberfläche andere Attractionsverhältnisse als auf der Erde hervorrufen. An seinen Polen muß die Schwere 2,87, auf seinem Aequator wegen der großen Schwungkraft 2,29 mal so groß als die auf der Erde an den entsprechenden Orten beobachtete Schwere sein. An den Polen fällt ein Körper in der ersten Sekunde durch einen Raum von 43,9, an dem Aequator von 34,6 Par. Fuß. Das Sekundenpendel müßte an

dem ersteren Orte eine Länge von 8,916, an dem letzteren von 7,106 Fuß haben u. s. w.

Aus der Vergleichung des Volumens und der Masse Jupiters folgt seine mittlere Dichtigkeit = 0,232, d. i. noch nicht $^1/_4$ der Dichtigkeit der Erde, und nur = 1,32 mal die Dichtigkeit des Wassers. Da aber seine Dichtigkeit nach dem Mittelpunkte hin zunimmt (er müßte, wäre dies nicht der Fall, eine stärkere Abplattung haben), so ist seine Oberfläche wahrscheinlich weniger dicht als Wasser, und eine Flüssigkeit von der Dichtigkeit des Wassers würde auf derselben kaum vorhanden sein.

6. **Streifen Jupiters.** Betrachtet man Jupiter mit einem, wenn auch nur mäßig vergrößernden Fernrohr, so nimmt man auf ihm eigenthümliche, der Richtung seines Aequators parallele, meist graubraune Streifen wahr; besonders fallen zwei dunklere Streifen auf, die am Aequator durch einen lichten Streifen von einander getrennt sind. Außer diesen beiden constanteren Streifen bemerkt man zu Zeiten noch mehrere andere, ja *Herschel* zählte einmal 40 derselben, von denen manche den sogenannten Windwolken nicht unähnlich sind. Manche derselben verändern sich oft in kurzer Zeit, um ebenso schnell andern Platz zu machen. Viele dieser Streifen, gewiß die beiden nahe der Mitte der Jupitersscheibe, gehen um die ganze Kugel herum, während andere mehr oder weniger plötzlich abbrechen. Nach den Rändern zu werden übrigens alle Streifen, wenn nicht ganz unsichtbar, so doch weniger deutlich wahrnehmbar, was für das Vorhandensein einer Atmosphäre spricht.

In den Streifen, besonders in den beiden größten zu beiden Seiten des Aequators, nimmt man nicht selten auffallend dunkle Flecken, jedoch von nicht ganz schwarzer Farbe wahr, und nach *Beer* und *Mädler* sollen dieselben zuweilen einen Durchmesser von gegen 800 Mln. haben.

Eine genauere Betrachtung dieser Flecken hat eine gewisse Aehnlichkeit mit den schon beschriebenen Sonnenflecken erkennen lassen. Sie zeigen mehr oder weniger deutlich einen dunklen Kernfleck, der mit einem helleren Rande wie mit einem Hofe umgeben ist; auch hat man an ihnen, wie an den Sonnenflecken, zuweilen eine Theilung bemerkt.

Fig. 95.



Die *Fig. 95* zeigt eine Darstellung des schönen Planeten mit seinen Streifen und Flecken.

Manche dieser Flecken haben sich als sehr constant gezeigt; so ist ein Flecken nicht weniger als 50 Jahre lang beobachtet worden. Uebrigens findet man sie bald auf der nördlichen, bald auf der südlichen Halbkugel Jupiters.

Was jene Streifen und diese Flecken Jupiters sein mögen, ist mit Sicherheit schwer zu ermitteln. Man ist geneigt,

an eine mit trübenden Stoffen erfüllte Atmosphäre zu denken. Diese Atmosphäre dürfte aber eine viel bedeutendere Dichtigkeit als die unserer Erde besitzen, und ebenso dürften die in dieser dichten Atmosphäre schwebenden Wolkengebilde weniger luftig als unsere Wolken sein. Nur in der Nähe des Aequators scheint die Atmosphäre, vielleicht infolge heftiger Passatwinde, dunstfrei und deshalb durchsichtiger zu sein. Für das Vorhandensein einer Atmosphäre spricht auch die Spektralanalyse Jupiters. Das Spektrum dieses Planeten zeigt Linien, die einigen der durch die Erdatmosphäre bewirkten entsprechen, und daher Stoffe in der Jupiteratmosphäre vermuthen lassen, wie sie in unserer Luft sich auch finden. Andre Linien zeigen eine solche Uebereinstimmung nicht, was für die Existenz von Stoffen spricht, die unserer Atmosphäre fremd sind. Höchst wahrscheinlich ist das vom Jupiter ausgestrahlte Licht nicht das seiner Oberfläche, sondern seiner dichten Wolkenatmosphäre, ähnlich wie bei der Sonne. Uebrigens hat Jupiter eine starke Reflexionsfähigkeit (Albedo); er strahlt mehr als $^6/_{10}$ des empfangenen Sonnenlichtes zurück, d. i. fast so viel wie weißes Papier. Was die bezeichneten Flecken betrifft, so ist man geneigt, sie ähnlich wie die Sonnenflecken zu erklären. Die großen und oft plötzlichen Veränderungen der Streifen und Flecken scheinen außerdem auf gewaltsame Bewegungen in der Jupitersatmosphäre hinzudeuten, welche die auf der Erde wahrgenommenen an Heftigkeit weit übertreffen dürften.

7. **Rotation, Tageszeiten.** Die Beobachtung der Flecken Jupiters hat Gelegenheit geboten, die Zeit seiner Rotation zu bestimmen. *Airy* fand dieselbe zu 9 Stdn. 55 Min. 21,3 Sek. mittlerer Sonnenzeit. Hiernach schwingt sich die mächtige Kugel mit außerordentlicher Geschwindigkeit um ihre Achse; denn ein Punkt des Jupiter-Aequators legt in einer Sekunde gegen 40176 Fuß zurück, oder er bewegt sich etwa 28 mal so schnell als ein Punkt des Erd-Aequators. Daß diese große Rotationsgeschwindigkeit eine starke Abplattung des Planeten zur Folge haben mußte, ist also begreiflich.

Die Tageszeiten müssen auf Jupiter außerordentlich schnell wechseln; denn der Tag ist hier fast $2^1/_2$ mal so kurz als auf der Erde. Es würde uns, auf Jupiter versetzt, die Geschwindigkeit auffallen, mit der die Sonne und die Sterne emporstiegen und sich senkten; denn während auf der Erde z. B. die Sonne in je 4 Min. mittlerer Zeit ihre Stellung um 1^0 verändert, würde dies auf Jupiter schon in je 1 Min. 39 Sek. geschehen. Die Sonne würde sich aber bedeutend kleiner als auf der Erde zeigen; sie würde im Mittel nur unter einem Winkel von 6′ 9″ oder mehr denn 5 mal so klein im Durchmesser, 27 mal so klein in der Fläche gesehen werden, als sie uns von der Erde aus erscheint. Sie wird darum die Tage Jupiters auch nur mit $^1/_{27}$ des der Erde gespendeten Lichtes erhellen und eine Helligkeit hervorrufen, wie sie bei einer 11,56zölligen Sonnenfinsternis auf der Erde wahrgenommen wird. Diese geringe Beleuchtung dürfte es, wofern die sehr dichte Atmosphäre und die in ihr schwebenden dichten Wolken es nicht verhindern, gestatten, selbst bei Tage wenigstens die hellsten der Sterne zu sehen. — In Beziehung auf die Be-

leuchtung Jupiters ist indessen zu bemerken, daß dieser Planet, wie sein großer Nachbar Saturn, sich bei der Beobachtung in einem größeren Glanze zeigt, als er nach der Rechnung und namentlich im Vergleich mit Mars besitzen könnte. Diese Thatsache könnte ihren Grund in einer größeren Reflexionsfähigkeit Jupiters haben (nach *Zöllner* verschluckt er nur 0,3762 des empfangenen Sonnenlichtes); es ist aber auch möglich, daß dieser große Körper mit dem Sonnenlichte uns zugleich noch eigenes Licht zusendet. Vielleicht ist ihm und einigen anderen äußeren Planeten selbst an der Oberfläche noch ein solcher Grad der nicht nur der Erde, sondern wahrscheinlich allen Planeten einst eigenen primitiven Wärme geblieben, daß sich dieselbe in Lichtentwicklung kundgeben kann. War doch *Buffon* geneigt anzunehmen, daß die großen Veränderungen in der Jupitersatmosphäre, die das Bild des Planeten fast stündlich verändert zeigen, Folge einer inneren Incandescenz seien. Es würden dann auf Jupiter Processe vor sich gehen, die einige Aehnlichkeit mit den auf der Sonne vermutheten hätten. Vielleicht giebt die Spektralanalyse Jupiters noch einmal darüber Auskunft. Die beobachtete Schwärze der Mondschatten scheint freilich der eigenen Lichtentwicklung zu widersprechen.

8. **Revolution, Jahreszeiten.** Seine weite Reise um die Sonne vollendet Jupiter siderisch in 4332,5848 Tagen oder in 11 Jahren 314 Tg. 19 Stdn. 55 Min. 12 Sek., so daß er in jeder Sekunde um einen Weg von 1,81 Mln. in seiner Bahn fortschreitet. Seine Bahngeschwindigkeit ist demnach noch nicht ganz halb so groß als die der Erde. — Ein Jupitersjahr ist nach dem Obigen etwa gleich 12, und jede einzelne Jahreszeit gleich drei Erdenjahren. Zur Sonne kehrt er nach je 1 Jahr 33 Tg. 16 Std. zurück. Wegen der geringen Neigung des Aequators zur Ebene seiner Bahn — sie beträgt nur 3° 6′ — kann indessen ein bedeutender Wechsel der Jahreszeiten für die meisten Gegenden Jupiters wohl kaum hervortreten. Die etwanigen Aequator-Bewohner sehen die Sonne zu Mittage immer in der Nähe des Zenithes; denn sie kann sich höchstens 3° 6′ nördlich und ebenso weit südlich von demselben entfernen. Die Wendekreise Jupiters liegen demnach nur $2 \times 3° 6' = 6° 12'$ von einander entfernt, und diese Zahl bezeichnet zugleich die Breite der heißen Zone. In dieser Zone kann sich, nach unsern irdischen Verhältnissen zu urtheilen, im Kreislauf des langen Jahres kaum ein auffälliger Temperatur-Unterschied bemerklich machen, zumal die Tage, wie auf dem ganzen Planeten, fast alle von gleicher Länge sind. Am ungünstigsten müssen sich die Verhältnisse für die Polargegenden gestalten. Die beiden Pole müssen den Anblick der Sonne fast sechs ganze Erdenjahre entbehren, während sie dieselbe in anderen sechs Jahren ohne Unterbrechung über ihrem Horizonte haben; doch steigt sie dann höchstens bis 3° 6′ Höhe hinauf. Erfolgt die Wärmeentwicklung auf Jupiter nach denselben Gesetzen wie auf der Erde, so würden sich auf ihm, dem Lande eines fortwährenden Frühlings oder Herbstes, menschliche Wesen wohl schwerlich behaglich fühlen.

II. Die vier Monde Jupiters.

Einen herrlichen Anblick müssen vom Jupiter aus die vier um ihn sich schwingenden Monde, sämtlich größer als der Erdenmond, und andererseits von diesen Monden aus Jupiter selbst darbieten. Bei bedeutenden Vergrößerungen zeigen sich die Monde von der Erde aus deutlich als leuchtende Scheiben; doch ist von Phasen nichts zu bemerken, da sie uns stets, wie Jupiter, die helle Seite zukehren. Daß Phasen indessen für Jupiter, und zwar in derselben Weise wie bei unserm Erdenmonde entstehen, bedarf wohl kaum bemerkt zu werden. Häufig sieht man nur 2 oder 3 Monde, doch nicht selten auch alle vier; immer aber stehen sie in diesem Falle in fast gerader Reihe in der Richtung der Streifen, und nur der 4. Mond weicht merklich von der geraden Linie ab. In weniger vergrößernden Fernröhren zeigen sich die Monde nur als leuchtende Punkte; stets aber gewähren sie neben der hellen, großen Scheibe des Hauptplaneten ein sehr schönes, und wegen beständig wechselnder Gruppirung ein interessantes Bild.

Uebrigens werden die einzelnen Monde nicht mit besonderen Namen, sondern nur nach ihrer Entfernung von dem Hauptplaneten als *I.*, *II.*, *III.* und *IV.* bezeichnet. Die wichtigsten Elemente der einzelnen Monde zeigen die beiden folgenden kleinen Tabellen.

Mond.	Entfernung vom Mittelpunkte Jupit. in Halbmess. Jup.	Entfernung vom Mittelpunkte Jupit. in geogr. Meilen.	Siderische Umlaufszeit in mittlerer Zeit.	Neigung der Bahnen gegen d. Aequat. Jup.	Neigung der Bahnen gegen d. Bahn Jupit.
				° ′ ″	° ′ ″
I.	5,944	59452	1 Tg. 18 Stdn. 27 Min.	— — 7	3 5 24
II.	9,452	94539	3 » 13 » 14 »	— 1 6	3 4 25
III.	15,086	150890	7 » 3 » 42 »	— 5 3	3 0 28
IV.	26,535	265403	16 » 16 » 32 »	2 40 58	2 40 58

Mond.	Scheinbarer Durchmesser von d. Mittelp. Jupiters.	Scheinbarer Durchmesser von der Erde.	Wahrer Durchmesser in geogr. Mln.	Masse in Milliontheil. der Jup.-Masse.	Dichtigkeit die Jupiters = 1 gesetzt.	Bahngeschwindigk. in 1 Std. in geogr. Mln.	Scheinbarer Durchmesser Jupiters von den Monden aus.
	′ ″	″					° ′
I.	31 12	1,015	530	17	0,52	8628	19 46
II.	17 35	0,911	475	23	1,00	6835	12 23
III.	18 0	1,488	776	88	0,87	5415	7 45
IV.	8 46	1,273	664	42	0,67	4083	4 24

Eine aufmerksame Betrachtung der vorstehenden Tabellen lehrt Folgendes:

1. **Entfernung vom Jupiter.** Es zeigen die vier Monde Jupiters zwar absolut größere Abstände vom Mittelpunkte ihres Hauptplaneten, als der Mond der Erde vom Mittelpunkte dieser; allein im Verhältnis zur Größe des Halbmessers des Hauptplaneten erscheinen die Satelliten Jupiters diesem außerordentlich nahe gerückt. Denn während unser Mond etwa 60 Erdhalbmesser vom Erdmittelpunkte absteht, beträgt die Entfernung der Jupitersmonde nur c. 6, $9^{1}/_{2}$, 15 und nahe $26^{1}/_{2}$ Halbmesser ihres Hauptplaneten. Der erste Mond ist demnach verhältnismäßig etwa nur $^{1}/_{10}$, der vierte noch nicht $^{1}/_{2}$ so weit vom Mittelpunkte Jupiters entfernt, als unser Mond vom Erdmittelpunkte.

2. **Umlaufszeit und Bahngeschwindigkeit.** Darum ist denn auch bei der großen Masse Jupiters die Geschwindigkeit, mit der die Monde den Planeten umkreisen, eine außerordentlich große und die Umlaufszeit eine verhältnismäßig sehr kurze. Namentlich entwickelt der erste Mond eine außerordentliche Geschwindigkeit. Da er bereits in 42 Stdn. einen Umlauf vollendet, so legt er in 1 Std. durchschnittlich nicht weniger als 8635, und in 1 Sek. fast $2^{2}/_{5}$ geogr. Mln. zurück, eine Geschwindigkeit, die mehr als die Hälfte der Bahngeschwindigkeit der Erde ausmacht. Dies muß von Jupiter aus merkwürdige Erscheinungen hervorrufen. Da der Mond nämlich in der angegebenen Zeit 360^{0} zurücklegt, so ändert er seine Stellung zu den Fixsternen stündlich um fast 9^{0} und in der 5stündigen Nacht um fast 45^{0}. Man muß ihn darum zusehends an den Fixsternen vorüber von W. nach O. fortschreiten sehen. Und selbst der vierte Mond übertrifft, indem er sich in weniger als 17 Tagen um Jupiter dreht, an Geschwindigkeit noch sehr bedeutend unsern Erdenmond; denn er legt in 1 Std. immer noch 4086, in 1 Sek. noch $1^{1}/_{10}$ geogr. Meilen zurück, während unser Mond in der letzteren Zeit nur 3100 Fuß oder etwa $^{2}/_{15}$ geogr. Mln. fortschreitet.

3. **Neigung der Bahnen.** Der große, stark abgeplattete Planet hat alle seine Monde gezwungen, sich fast in der Ebene seines Aequators um ihn zu schwingen. Wie oben angegeben, beträgt die Neigung der Bahnen zur Ebene des Aequators bei den drei ersten Monden nur wenige Minuten, und nur der äußerste Mond weicht merklich, $2^{0}\ 40'\ 58''$, von der genannten Ebene ab; ebenso sind die Neigungen der Bahnen zur Jupitersbahn nur unbeträchtlich, indem sie sich zwischen nur $2^{1}/_{2}{}^{0}$ und $3^{1}/_{2}{}^{0}$ bewegen.

Die Excentricität der jedenfalls elliptischen Bahnen hat bisher nur annähernd genau bestimmt werden können; die ungleiche Entfernung des äußersten Mondes zur Zeit seiner größten östlichen oder westlichen Ausweichung hat indessen erkennen lassen, daß bei ihm eine Excentricität vorhanden ist. — Ueberdies haben die Rechnungen ergeben, daß, wie Jupiter, auch die Monde den *Kepler*schen Gesetzen gehorchen.

4. **Scheinbare und wahre Größe.** Von der Erde aus erscheinen die Satelliten Jupiters unter sehr kleinen Gesichtswinkeln; denn der zweite und kleinste Mond zeigt einen scheinbaren Durchmesser von noch nicht 1″, und der

fernere Nachbar, der größte der Monde, von nicht ganz $1\frac{1}{2}''$. Dessen ungeachtet können wenigstens die helleren der Monde unter sehr günstigen Bedingungen mit scharfen Augen ohne künstliche Instrumente als ganz feine Lichtpünktchen gesehen werden. Fernröhre von nur geringer Vergrößerung machen sie deutlich sichtbar.

Von Jupiter aus erscheinen die Monde natürlich unter größeren Winkeln. Der erste und nächste Mond zeigt fast die Größe unseres Erdenmondes; denn vom Mittelpunkte Jupiters aus würde er unter einem Durchmesser von 31′ 11″, für einen Ort der Oberfläche aber, der den Mond im Zenith hätte, unter einem Winkel von 37′ 20″ erscheinen. Die andern Monde sind sämtlich scheinbar bedeutend kleiner als unser Mond, da sie sich als Scheiben mit einem Durchmesser von nur $17\frac{1}{3}$, 18 und etwa $8\frac{1}{2}'$ darstellen. Jedenfalls aber müssen die 4 Monde von Jupiter aus nach unseren Vorstellungen ein herrliches Schauspiel darbieten, das weiter auszumalen wir dem Leser überlassen wollen. Noch herrlicher aber muß der Anblick des Hauptplaneten von den Monden aus sich gestalten, und zwar wegen der außerordentlichen Größe, in der sich hier derselbe zeigen muß. Von dem ersten Monde nämlich erscheint Jupiter als eine große Scheibe von 19° 46′ Durchmesser. Diese Scheibe, 47mal so groß im Durchmesser, 1376mal so groß in Fläche als unser Vollmond, würde die 7 Hauptsterne des großen Bären oder das ganze Sternbild des Orion verdecken können, und wenn sie am Horizonte aufginge, den 18ten Theil desselben einnehmen. Sehr bedeutend muß die Beleuchtung sein, die der erste Mond von seinem Hauptplaneten empfängt, und dies sowie die ungeheure Größe muß ihn den etwanigen Bewohnern des Mondes wichtiger erscheinen lassen, als die unter einem Winkel von nur 6′ sich darstellende Sonnenscheibe. Auch die übrigen Monde sehen Jupiter als eine mächtige Scheibe von angegebenen Dimensionen am Himmel glänzen und im Laufe ihres Monats alle Phasen durchlaufen.

Was die wahre Größe der Monde betrifft, so sind sie im Verhältnis zu Jupiter als nur klein zu betrachten; denn noch keiner zeigt den doppelten Durchmesser unseres Erdenmondes. Am kleinsten ist der 2., am größten der 3. Mond. Alle zusammen aber sind an Masse nur 0,00017 der Jupitersmasse und etwa gleich $\frac{1}{20}$ der Erdmasse; hinsichtlich der Dichtigkeit aber weichen alle nur unbedeutend von der des Hauptplaneten ab.

Den Größenverhältnissen ist indessen nicht der Glanz entsprechend, in welchem man die einzelnen Monde von der Erde aus erblickt. Am hellsten erscheint freilich gewöhnlich der 3. und größte Mond; allein der zweit-größte, 4. Mond nimmt hinsichtlich seines Glanzes nicht die zweite Stelle ein, sondern erscheint meist als der trübste und wenigst glänzende aller Monde. Er wird fast immer von dem 2. und dem 1. Monde übertroffen, und dieser letztere überstrahlt in gewissen Theilen seiner Bahn zuweilen selbst den 3. Mond. Die Ursache dieser Nichtübereinstimmung zwischen Größe und Glanz kann wohl nur in der Beschaffenheit der Oberflächen dieser Monde gesucht werden. Strahlen doch auch nicht alle Theile der Oberfläche unseres Mondes ein gleich helles Licht

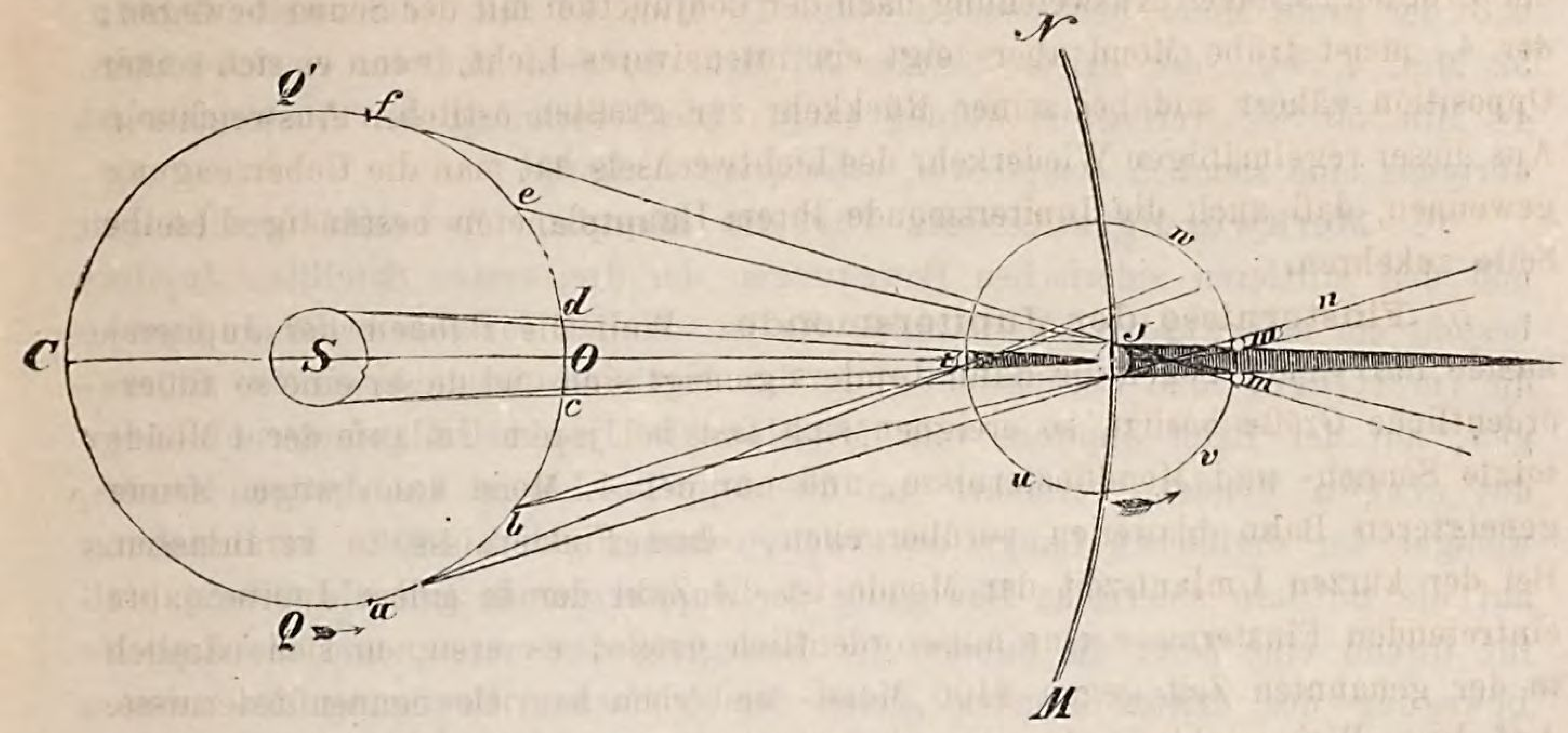
aus. Der 1. und der 2. Jupitersmond glänzen am meisten, wenn sie sich von der größten östlichen Ausweichung nach der Conjunction mit der Sonne bewegen; der 4., meist trübe Mond aber zeigt ein intensiveres Licht, wenn er sich seiner Opposition nähert und bei seiner Rückkehr zur größten östlichen Ausweichung. Aus dieser regelmäßigen Wiederkehr des Lichtwechsels hat man die Ueberzeugung gewonnen, daß auch die Jupitersmonde ihrem Hauptplaneten beständig dieselbe Seite zukehren.

5. **Finsternisse der Jupitersmonde.** Weil die Bahnen der Jupitersmonde nur wenig gegen die Bahn Jupiters geneigt sind und dieser eine so außerordentliche Größe besitzt, so ereignen sich fast bei jedem Umlaufe der 4 Monde totale Sonnen- und Mondfinsternisse, und nur der 4. Mond kann wegen seiner geneigteren Bahn bisweilen vorübergehen, ohne Finsternisse zu veranlassen. Bei der kurzen Umlaufszeit der Monde ist die Zahl der in einem Jupitersjahre eintretenden Finsternisse eine außerordentlich große; es ereignen sich nämlich in der genannten Zeit gegen 4400 Mond- und eben so viele Sonnenfinsternisse. Auf diese Weise erblickt Jupiter seine Monde nie als Vollmond, mit Ausnahme des 4. Mondes.

Die Finsternisse der Jupitersmonde, namentlich die Mondfinsternisse, haben für die Erde, von der aus sehr viele derselben deutlich beobachtet werden können, eine besondere Wichtigkeit erlangt. Einmal bieten sie ein interessantes Schauspiel dar, indem sie Erscheinungen, die für die Erde und deren Mond nur nach längeren Zeiträumen eintreten, fast täglich veranlassen; sodann gewähren sie, wie an einem anderen Orte (S. 131) bereits näher entwickelt worden, ein gar bequemes und zuverlässiges Mittel, die Längendifferenz zweier Oerter mit großer Genauigkeit zu bestimmen, und endlich haben sie Veranlassung geboten, die Geschwindigkeit des Lichtes zu berechnen, die man zuvor für eine unbegrenzte anzusehen geneigt war.

Wenn bei einer Mondfinsternis ein Mond sich in den Jupitersschatten taucht, so sieht man sein Licht rasch abnehmen, und beim Wiederaustritt aus dem Schatten rasch zunehmen. Von den beiden ersten Monden kann wegen ihrer Nähe an dem Hauptplaneten nur der Ein-, oder nur der Austritt aus dem Schatten, beim 3. und 4. Monde aber zuweilen Ein- und Austritt beobachtet werden. Als die günstigste Zeit der Beobachtung erscheint die Zeit vierzehn Wochen vor und nach der Opposition. Näher dieser letzteren verdeckt die Jupitersscheibe, und zwar vor der Opposition, den Punkt des Austritts, nach derselben den des Eintritts, und bei der Opposition selbst sowohl den des Ein- als auch des Austritts, wie aus *Fig. 96* leicht ersehen werden kann. Es stelle in derselben *S* die Sonne, *a b c d e f* einen Theil der Erdbahn, *MN* der Jupitersbahn, Kreis *u v w* die Bahn des 4. Mondes und im Mittelpunkte derselben *J* den Jupiter dar. Den der Sonne abgewandten Schattenkegel Jupiters wird man leicht erkennen; der besagte Mond wird bei *m* in denselben ein-, bei *m'* aus demselben austreten. Steht nun die Erde bei *a*, so zeigt die an die Jupitersscheibe gezogene Tangente *a n*, daß von *a* aus sowohl der Ein-

Fig. 96.



als auch der Austritt des Mondes aus dem Schatten sichtbar sein muß, und zwar auf der westlichen Seite Jupiters; dies kann aber nur bis zum Punkte *b* der Erdbahn der Fall sein; denn die von *b* an Jupiter gezogene Tangente trifft hier gerade den Punkt des Austritts bei m′. Zwischen *b* und *c* kann nur der Eintritt der Finsternis sichtbar sein; der Austritt wird bereits von Jupiter selbst verdeckt. Von dem Punkte *c* der Erdbahn an muß aber auch der Eintritt aufhören sichtbar zu sein, da dieser Punkt gerade in der Verlängerung des Schattenkegels liegt. Auf dem Wege der Erde von *c* bis *d*, in dessen Mitte *O* den Punkt bezeichnet, in welchem für die Erde Jupiter in Opposition mit der Sonne steht, macht die Scheibe Jupiters die ganze Finsternis unsichtbar. In dem Punkte *d* beginnt wieder der Austritt, und in dem Punkte *e* der Ein- und der Austritt des Mondes sichtbar zu werden; doch werden die Finsternisse nun östlich vom Jupiter wahrgenommen.

Was die durch die Monde veranlaßten Sonnenfinsternisse auf Jupiter betrifft, so kann man deren Verlauf, wie er sich von der Erde aus darstellen muß, leicht durch die Figur sich veranschaulichen. Es werfen nämlich die Monde bei ihrem Durchgange zwischen der Sonne und Jupiter ihren Schatten auf diesen letzteren, und es stellt sich derselbe bei den drei ersten Monden als ein scharf begrenzter schwarzer, und nur bei dem 4. Monde wegen seiner größeren Entfernung und des größeren Halbschattens als ein verwaschener, weniger schwarzer Flecken dar. Zieht man sich von *a* und *b* aus die Linien *at* und *bt* zu dem verfinsternden Monde, so sieht man leicht, daß vor der Opposition Jupiters der Schatten des Trabanten diesem letzteren vorangehen muß, bis bei der Opposition Jupiters selber der Trabant seinen Schatten deckt. Die umgekehrten Verhältnisse müssen nach der Opposition Jupiters eintreten; der Trabant wird westlicher als sein Schatten gesehen; dieser muß demnach dem Trabanten folgen, wie man es in der That deutlich wahrnehmen kann.

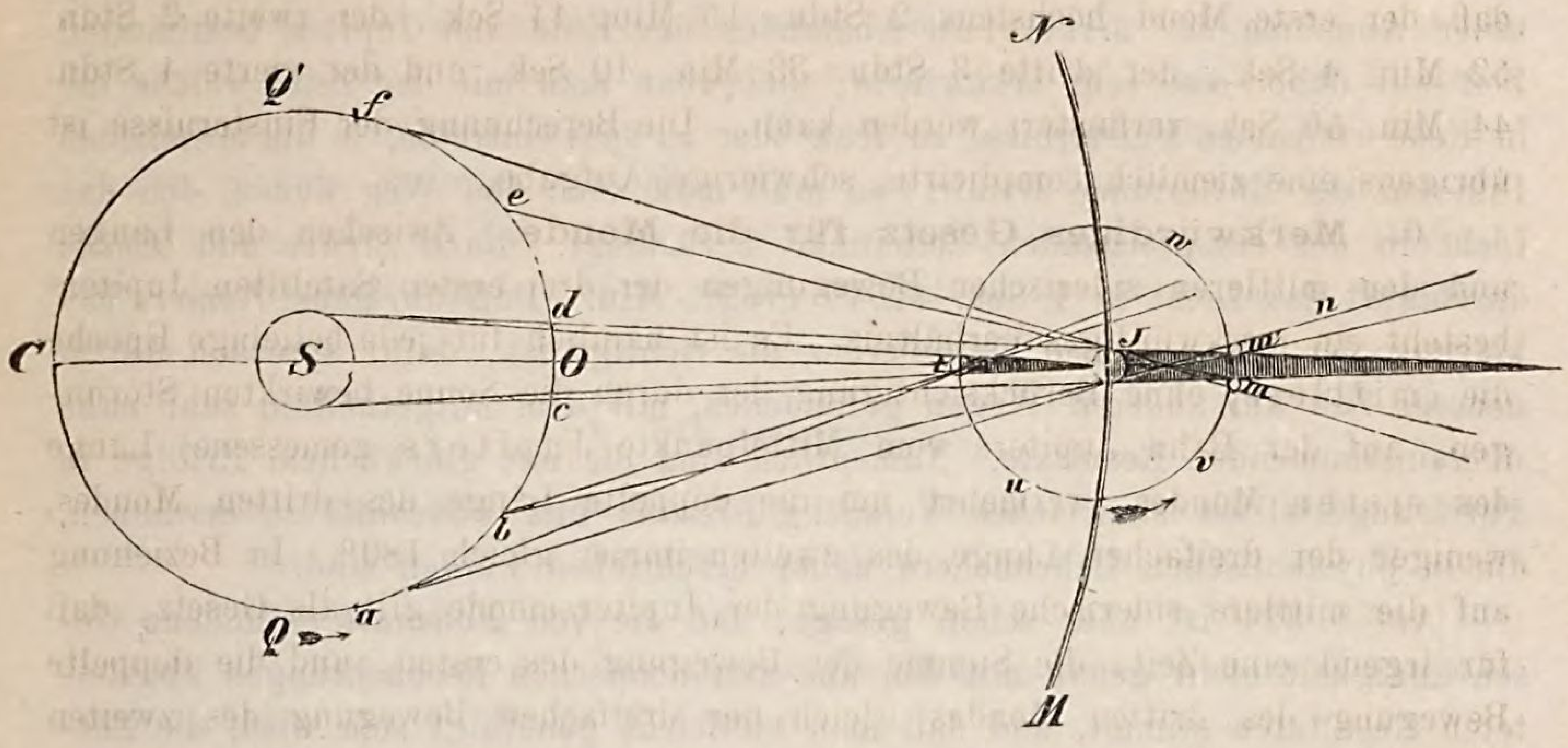
Hinsichtlich der Dauer der Finsternisse der Jupitersmonde ist zu bemerken, daß der erste Mond höchstens 2 Stdn. 15 Min. 44 Sek., der zweite 2 Stdn. 52 Min. 4 Sek., der dritte 3 Stdn. 33 Min. 40 Sek. und der vierte 4 Stdn. 44 Min. 50 Sek. verfinstert werden kann. Die Berechnung der Finsternisse ist übrigens eine ziemlich complicirte, schwierige Aufgabe.

6. **Merkwürdiges Gesetz für die Monde.** Zwischen den Längen und den mittleren siderischen Bewegungen der drei ersten Satelliten Jupiters besteht ein merkwürdiges Verhältnis. Es ist nämlich für jede beliebige Epoche die (mittlere, ohne Berücksichtigung der durch die Sonne bewirkten Störungen, auf der Bahn Jupiters vom Mittelpunkte Jupiters gemessene) Länge des ersten Mondes, vermehrt um die doppelte Länge des dritten Mondes, weniger der dreifachen Länge des zweiten immer gleich 180°. In Beziehung auf die mittlere siderische Bewegung der Jupitersmonde gilt als Gesetz, daß für irgend eine Zeit: die Summe der Bewegung des ersten, und die doppelte Bewegung des dritten Mondes gleich der dreifachen Bewegung des zweiten Mondes ist. Hieraus folgt, daß, wenn zwei Monde etwa gleiche Länge haben, der dritte stets 60° oder 90°, oder auch 180° von ihnen absteht; nämlich 60°, wenn der erste und der dritte, 90°, wenn der erste und der zweite, und 180°, wenn der zweite und dritte gleiche Länge haben. Sind daher einmal zwei Monde zugleich verfinstert, so kann der dritte Mond keine Finsternis haben; es können überhaupt nach dem Gesagten die drei inneren Monde nie gleichzeitig verfinstert werden.

7. **Die Geschwindigkeit des Lichtes.** Die Verfinsterungen der Jupitersmonde haben, wie bereits angedeutet, Veranlassung zur Lösung einer interessanten Aufgabe gegeben, nämlich zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes.

Nachdem durch das Fernrohr im Jahre 1610 die Jupitersmonde entdeckt worden waren, suchte man durch fortgesetzte fleißige Beobachtung die Umlaufszeiten der einzelnen Monde zu bestimmen. Da es damals aber noch an geeigneten Meßinstrumenten fehlte, um mit Sicherheit angeben zu können, wann die Monde wieder dieselbe Stellung zum Hauptplaneten eingenommen und also einen Umlauf vollendet hätten, so benutzte man die häufig wiederkehrenden Verfinsterungen der Monde dazu; denn offenbar hatte bei einer wiederkehrenden Finsternis der betreffende Mond wieder dieselbe Stellung zu dem Hauptplaneten und zur Sonne angenommen. Die Resultate der in den verschiedensten Entfernungen Jupiters von der Erde gemachten Beobachtungen wurden zusammengestellt, und aus ihnen die Umlaufszeiten der einzelnen Monde abgeleitet. Die gefundenen Umlaufszeiten sollten zugleich dazu dienen, in geeigneten Tabellen die in Zukunft eintretenden Verfinsterungen im voraus zu bestimmen. Solche Tabellen waren auch bereits zur Zeit des dänischen Astronomen *Olauf Römer* im Jahre 1675 vorhanden. Er beobachtete in dem genannten Jahre zu Paris die Trabanten Jupiters und fand, daß die durch Rechnung bestimmten Zeiten der Finsternisse mit den beobachteten nicht immer, sondern nur zuweilen

Fig. 97.



harmonirten. Die Rechnung stimmte mit den Beobachtungen, wenn Jupiter mit der Sonne in Quadratur oder 90° von ihr entfernt stand; die Finsternis trat aber $8^1/_4$ Min. zu früh ein, wenn Jupiter sich in Opposition, und sie verzögerte sich um dieselbe Zeit, wenn er sich in Conjunction mit der Sonne befand. Dem Scharfblicke *Römers* gelang es, in der Geschwindigkeit des Lichts die wahre Ursache der Erscheinung zu entdecken. Mit Hilfe der *Fig. 97* wird uns die Sache deutlich werden.

Steht die Erde in den Punkten Q und Q' ihrer Bahn, so wird Jupiter etwa 90° von der Sonne entfernt gesehen, oder er steht mit dieser in Quadratur; alsdann aber ist seine Entfernung von der Erde seiner Entfernung von der Sonne ungefähr gleich. Befindet sich dagegen die Erde zur Zeit der Opposition Jupiters in O, so ist Jupiters Abstand von der Erde um den Halbmesser der Erdbahn, OS, kleiner, zur Zeit der Conjunction in C aber um den Halbmesser der Erdbahn, SC, größer als die Entfernung Jupiters von der Sonne. Wäre, wie man früher anzunehmen geneigt war, die Geschwindigkeit des Lichtes eine unbeschränkte, so könnte der größere oder kleinere Abstand Jupiters von der Erde auf die Zeit, zu welcher die Finsternisse seiner Monde auf der Erde sichtbar werden, keinen Einfluß ausüben; denn es müßten ja die Finsternisse zu allen Zeiten in demselben Momente gesehen werden, in dem sie in Wirklichkeit eintreten. Bedarf hingegen das Licht zu seiner Fortpflanzung Zeit, so können erstens jene Finsternisse nicht in dem Augenblicke ihres Eintritts gesehen werden, sondern sie müssen überhaupt um so viel später wahrgenommen werden, als das Licht Zeit gebraucht, um den Weg vom Jupiter bis zur Erde zu durchlaufen; andererseits müssen die Finsternisse bei der Opposition Jupiters früher, bei der Conjunction später gesehen werden als zur Zeit der Quadratur, und zwar um die Zeit, welche das Licht gebraucht, um die vorhandene Differenz der Entfernung, nämlich den Halbmesser der Erdbahn, zu

durchlaufen. Jene Differenz der Beobachtungszeit und der durch Rechnung unter Annahme des mittleren Abstandes der Erde von Jupiter bestimmten Zeit war daher eine sehr erklärliche, und wenn man mit der Zeit, welche die in Rede stehenden Finsternisse zu früh oder zu spät eintreten, in die bestehende Differenz der Entfernung dividirt, so muß man auch den Weg finden, den das Licht in der entsprechenden Zeiteinheit zurücklegt. Nach *Struve* und *Encke* durchläuft das Licht in 1 Sek. 41549 geogr. Mln. Daß übrigens *Römers* Erklärung der besprochenen Zeitdifferenz die richtige ist, dafür sprechen die in neuerer Zeit auf anderen Wegen gefundenen, mit dem mitgetheilten sehr nahe übereinstimmenden Resultate. Namentlich sind die mit glücklichem Erfolge in Paris angestellten sinnreichen Versuche *Fizeaus* und *Foucaults* zu erwähnen, die in physikalischen Lehrbüchern näher beschrieben worden sind.

Auf S. 324 ist aber schon gesagt, daß die von *Foucault* gefundene Geschwindigkeit nicht genau mit den aus astronomischen Beobachtungen abgeleiteten Resultaten stimmt, und daß man vielleicht genöthigt sein wird, die Entfernung der Erde von der Sonne etwas kleiner anzunehmen.

Es verbreitet sich also das Licht mit einer Schnelligkeit, die alle Vorstellung übersteigt. Den ungeheuren Weg von der Sonne zur Erde, den Halbmesser der Erdbahn, durcheilt es schon in 8 Min. 18,2 Sek., und das Licht Jupiters ist, in der mittleren Entfernung dieses Körpers von der Erde, nur 43 Min. 9 Sek. unterweges, um zu uns zu gelangen. Wir sehen also, wenn wir Jupiter beobachten, nicht, was auf ihm im Momente der Beobachtung vorgeht, sondern wie es vor etwa ³/₄ Std. auf ihm stand. Und so ist der ganze Himmel nicht ein Bild der Gegenwart, sondern, wie z. B. bei den uns verhältnismäßig nahen Gliedern des Sonnensystems, der nächsten, und bei den Fixsternen der fernen und vielleicht fernsten Vergangenheit.

7. Das System Saturns ♄.

Noch zusammengesetzter und zugleich merkwürdiger als das System Jupiters ist das des Saturn, der bis zum Jahre 1781 die äußerste Grenze des Planetensystems bezeichnete. Dieser schöne Planet zeigt sich stets als ein Stern erster Größe in einem weißlichen Lichte und, einmal erkannt, kann er mit Leichtigkeit wieder aufgefunden werden, da er wegen seiner großen Bahn und der verhältnismäßig geringen Geschwindigkeit etwa 2½ Jahr in demselben Sternbilde verharrt. Betrachtet man ihn mit einem schwachen Fernrohr, so zeigt er sich als eine Scheibe mit zwei henkelförmigen Ansätzen, und etwa 50 Jahr nach seiner ersten Betrachtung im Fernrohr hat es gewährt, ehe man über seine wahre Gestaltung ins Reine kam, indem *Huyghens* 1657 zeigte, daß diese seitlichen Erweiterungen nicht etwa, wie *Galilei* u. a. anzunehmen geneigt waren, zwei mit dem Hauptplaneten gleichsam verwachsene Monde, sondern ein frei schwebender Ring sei, der in seiner perspektivischen Verkürzung sich zu beiden Seiten des Planeten henkelförmig darstelle. Später ward von *Cassini* 1715 die

Zweitheilung, und in neuester Zeit die Mehrtheilung des Ringes erkannt, so daß man gegenwärtig von einem Ringsysteme des Saturn reden kann. Außer diesen Ringen sind 8 Monde entdeckt worden, die außerhalb der Ringe in kleineren und größeren Bahnen den Hauptplaneten umkreisen. Hiernach sind in dem System Saturns drei Haupttheile zu unterscheiden, nämlich 1) die Saturnskugel, 2) die Ringe, 3) die 8 Trabanten, welche Bestandtheile des Systems wir in der angegebenen Reihenfolge etwas näher betrachten wollen.

I. Die Saturnskugel.

1. **Excentricität und Neigung der Bahn.** Die weite Bahn Saturns weicht etwas mehr als die Jupiters von einem Kreise ab; denn ihre Excentricität beträgt 0,05599, d. i. etwa $^1/_{18}$ der halben großen Achse derselben; auch ist die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik bedeutend größer als bei Jupiter, indem sie 2° 29′ 28″,9 beträgt.

2. **Entfernung von der Sonne.** Der Mittelpunkt Saturns befindet sich in einem mittleren Abstande von 9,53885 Sonnenweiten oder 197$^1/_4$ mill. Mln. von der Sonne. Seine größte Entfernung von dieser aber beträgt 10,07327 Sonnenweiten = 208$^1/_3$ mill. Mln., seine kleinste nur 9,004422 Sonnenweiten = 186$^1/_5$ mill. Mln.

Der Erde kann er sich bis auf 165 mill. Mln. nähern, sich aber auch bis auf 229 mill. Mln. von ihr entfernen.

3. **Scheinbare und wahre Größe.** In der mittleren Entfernung von der Erde erscheint Saturn unter einem Durchmesser von 17″,9. Bei seiner Annäherung an die Erde wächst dieser Winkel bis auf 21″,5 an, während er in seinem größten Abstande von derselben sich bis auf 15″,5 vermindert. Stets aber zeigt sich der Planet trotz seiner großen Entfernung von der Sonne und der dadurch bedingten schwachen Beleuchtung durch dieselbe als ein Stern der ersten Größe. Nach der Rechnung ist das ihm von der Sonne gespendete Licht im Mittel $^1/_{91}$, im Perihel $^1/_{81}$, im Aphel $^1/_{101}$ dessen, welches die Erde von der Sonne empfängt; sein Glanz ist aber bei der Beobachtung stets bedeutender, als er nach den angegebenen Zahlenwerthen sein könnte. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, daß auch dieser Planet mit dem reflektirten Sonnenlichte noch eigenes Licht zu uns sendet. Die vollkommene Schwärze der Mondschatten scheint aber auch hier gegen eigene Lichtentwicklung zu sprechen.

Der mittlere Durchmesser Saturns, d. i. der Durchmesser einer Kugel, die mit der abgeplatteten Saturnskugel gleiches Volumen hat, beträgt 16370 geogr. Meilen, oder er ist 9,52 mal so groß als der Erddurchmesser. Von dieser Größe ist aber der Aequatorial-Durchmesser und die Achse verschieden; ist nämlich die von *Bessel* bestimmte Abplattung zu $\frac{1}{10,2}$ richtig, so hätte der erstere eine Länge von etwa 17214, die letztere von nur 15527 geogr. Mln.

An Oberfläche übertrifft Saturn die Erde 93,6, an Volumen fast 905,9 mal. Er ist nächst Jupiter der größte Planet.

4. **Masse und Dichtigkeit.** Seine Masse indessen steht nicht in demselben Verhältnis mit dem Volumen; sie beträgt nämlich mit den Ringen nach *Bessel* $\frac{1}{3500,2}$ der Sonnenmasse, und die des Saturnskörpers allein $\frac{1}{3530,1}$. Da nun die der Erde zu $\frac{1}{359551}$ der letzteren angegeben wird, so würden etwa 102 Erdkugeln der Saturnskugel das Gleichgewicht halten. Hieraus aber folgt, daß Saturn eine bedeutend geringere mittlere Dichtigkeit als die Erde besitzt; sie beträgt nämlich nur 0,112 der letzteren und erreicht noch nicht die Dichtigkeit des Wassers, indem sie nur 0,64 so dicht als dieses ist. Da nun aber die Dichtigkeit Saturns nach dem Mittelpunkte hin zunehmen muß, weil sonst die Abplattung noch beträchtlicher sein müßte, so ist schwer zu sagen, in welchem Aggregatzustande, ob im festen oder flüssigen, sich die Oberfläche des Planeten befinden mag. Was die Verhältnisse der Schwere an der Oberfläche Saturns betrifft, so können dieselben von denen der Erde nicht sehr verschieden sein. Auf seinem Aequator drückt eine Last von 100 irdischen Pfunden mit einem Gewicht von 83 Pfunden, und ein freifallender Körper legt in der 1. Sek. 12,6 Fuß zurück.

5. **Streifen Saturns, Rotation.** Wie Jupiter, zeigt auch Saturn mehrere seinem Aequator parallele Streifen; wegen der größeren Entfernung aber sind dieselben nicht so deutlich wahrnehmbar und nicht so dunkel, als die an Jupiter beobachteten. Am constantesten zeigt sich ein Aequatorial-Streifen, dem sich zu beiden Seiten noch mehrere andere zugesellen; doch gehen diese Streifen nicht bis zu den Polen. In ihnen nimmt man ebenfalls bedeutende Veränderungen wahr, was auf heftige Bewegungen in der höchst wahrscheinlich vorhandenen Atmosphäre schließen läßt. Für das Vorhandensein der letzteren spricht auch die Erfahrung, daß Fixsterne oder die Monde Saturns in ihrem Lichte geschwächt werden, wenn sie dem Saturn nahe kommen; es scheint sogar eine sehr dichte Atmosphäre vorhanden zu sein. Und in dieser Atmosphäre müssen Temperatur-Veränderungen stattfinden, da man, wie bei Mars, denjenigen Pol, der gerade Winter hat, in stärkerem Lichte erglänzen sieht, als den Sommer habenden.

Das Spektrum Saturns ist nur schwach, läßt aber doch Linien erkennen, die denen des Jupiter-Spektrums ähnlich sind. Der französische Gelehrte *Janssen* glaubt einige der Linien beider Spektra als durch Wasserdampf verursacht erklären zu müssen. Uebrigens zeigt das Spektrum der Ringe Saturns schwächere Linien als der eigentliche Planet, so daß die Atmosphäre der ersteren weniger dicht ist als die der letzteren.

Durch Beobachtung gewisser dunklen Flecken an der Oberfläche Saturns hat *William Herschel* die Rotationszeit desselben zu 10 Stdn. 29 Min. 17 Sek. bestimmt, wonach auch dieser große Planet sich mit außerordentlicher

Geschwindigkeit um die Achse schwingt und einen raschen Wechsel von Tag und Nacht besitzen muß. Allein die Tage des Saturn können, wofern außer der Sonne nicht noch andere Lichtquellen auf ihm vorhanden sind, nur geringe Helligkeit besitzen; denn die Sonne erscheint in der mittleren Entfernung fast 10 mal so klein im Durchmesser und 91 mal so klein in der Fläche, als wir sie von der Erde aus erblicken. Sie kann darum nur eine Helligkeit erzeugen, die einer tiefen Dämmerung gleicht, oder wie sie bei einer Sonnenfinsternis eintritt, bei welcher die Sonne bis auf 0,13 Zoll verfinstert wird. Schon dieser eine Umstand muß uns Saturn als einen wenig erfreulichen Aufenthaltsort für Menschen erscheinen lassen.

6. **Revolution, Jahreszeiten.** Seine c. 1250 mill. Mln. lange Bahn durchläuft Saturn siderisch erst in 29 Jahren 166 Tg. 23 Stdn. 16 Min. 48 Sek.; ein Saturnsjahr hat daher nicht weniger als 24620 Saturns- und 10759 Erdentage. Er bewegt sich deshalb nur sehr langsam am Himmel. Täglich schreitet er heliocentrisch nur 2′, jährlich nur 12° bis 13° fort, so daß er fast 2½ Jahr lang in demselben Sternbilde verweilt. In einer Sekunde rückt er mit dem ganzen System nur 1,34 Mln. fort, und nach 1 Jahr 12 Tg. 20 Stdn. gelangt er mit der Sonne wieder in Conjunction.

Die Neigung des Aequators zur Bahn ist, wenn auch nicht ganz sicher, zu etwa 30° bestimmt worden, woraus folgen würde, daß fast alle Zonen dieselbe Breite hätten. Fällt die Ebene der Ringe mit der des Aequators zusammen, was wenigstens nahezu der Fall zu sein scheint, so ist die Neigung des Aequators zur Bahn 26° 49′ 17″ (nach *Mädler*). Bei dieser nicht unbeträchtlichen Neigung des Aequators und der großen Länge des Jahres müssen, nach irdischen Verhältnissen zu urtheilen, außerordentliche Unterschiede in den Jahreszeiten hervortreten, wobei irdische lebende Wesen wohl schwerlich bestehen könnten. So würde den Polen die Sonne nicht weniger als 14½ unserer Erdenjahre verborgen bleiben, und der hellere Glanz der Polargegenden zur Zeit ihres langen Winters scheint die eisige Temperatur zu verrathen, die wahrscheinlich alles Leben mit Vernichtung bedroht.

II. Die Ringe Saturns.

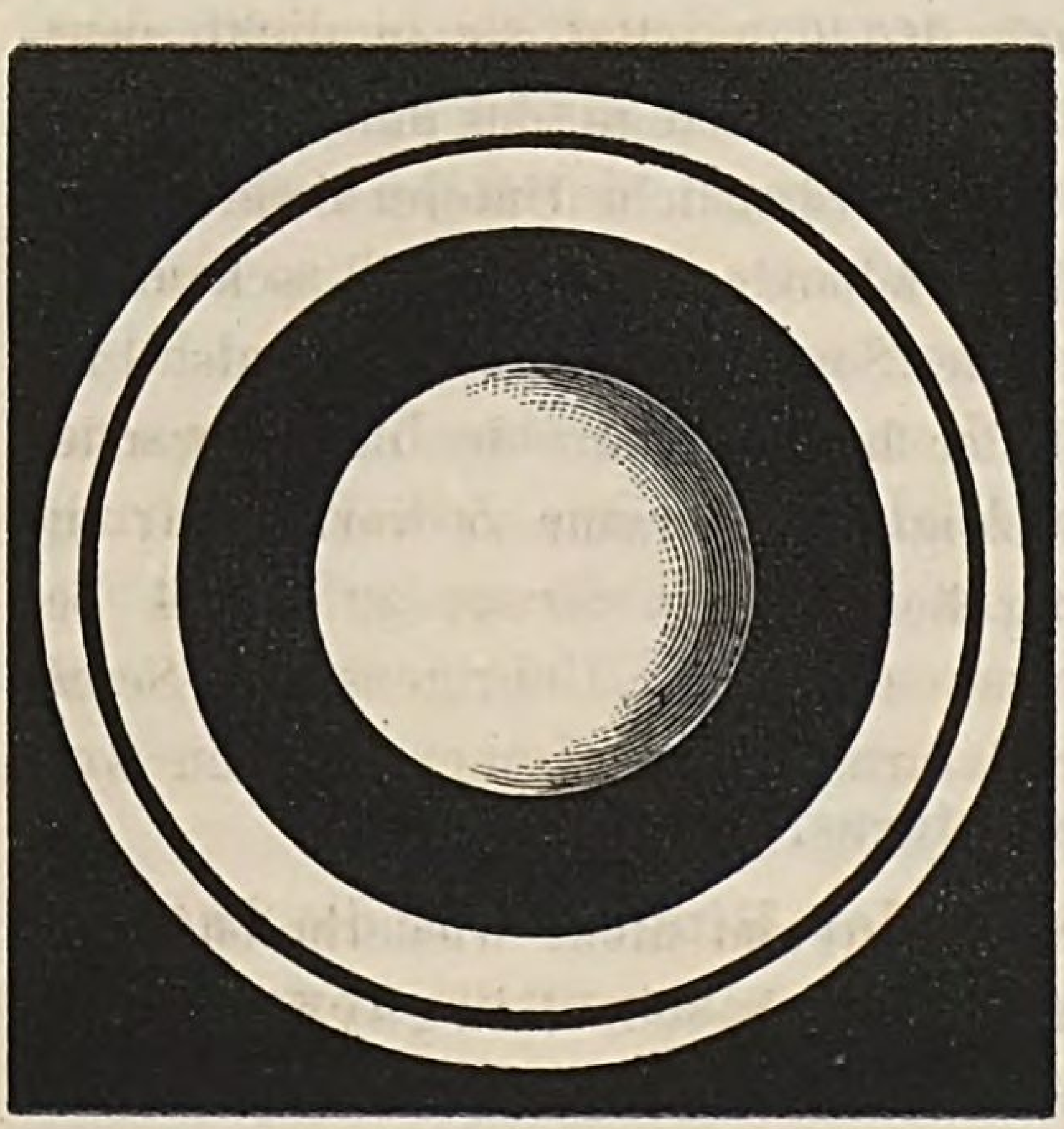
Eine ganz räthselhafte und sich im Sonnensystem nicht wiederholende Erscheinung sind die Ringe Saturns oder eigentlich sein Ringsystem, das dem Planeten im Fernrohre eine so eigenthümliche Gestalt verleiht. Wir haben bereits erwähnt, wie es lange Zeit gewährt hat, bis endlich *Huyghens* 1657 die wahre Gestaltung des Planeten erkannte und die henkelförmigen Ansätze durch einen freischwebenden dünnen, kreisförmigen Ring erklärte, in dessen Mitte Saturn selbst sich befinde. Fortgesetzte Beobachtungen des Ringes führten aber bald zu der Entdeckung, daß derselbe nicht einfach, sondern wenigstens doppelt sei, und es soll *Cassini* der erste gewesen sein, der im Jahre 1715 die Zweigestaltung des Ringes erkannte. In den vollkommneren Instrumenten

der neuesten Zeit hat man noch eine weitere Theilung des äußersten, schmaleren Ringes wahrgenommen, worüber weiter unten Näheres mitgetheilt werden wird.

1. **Größe der Ringe.** Bleiben wir hier zunächst bei der Zweigestaltung des Ringes stehen, die am leichtesten und sichersten gesehen werden kann, so zeigt derselbe nach den Messungen *Struves* in der mittleren Entfernung von der Erde in seinen Theilen folgende Dimensionen:

	Scheinbare Größe. "	Wahre Größe in geogr. Meilen.
Halbmesser Saturns .	8,995	8545
Innerer Halbmesser des inneren Ringes	13,334	12667
Entfernung des inneren Ringes von der Oberfläche Saturns .	4,339	4122
Aeußerer Halbmesser des inneren Ringes	17,237	16375
Breite des inneren Ringes	3,903	3708
Innerer Halbmesser des äußeren Ringes	17,644	16762
Breite des Zwischenraumes	0,407	387
Aeußerer Halbmesser des äußeren Ringes	20,047	19045
Breite des äußeren Ringes	2,403	2283
Breite des Doppelringes	6,713	6378

Fig. 98.



Hiernach würde Saturn und sein Ringsystem etwa die in *Fig. 98* dargestellten relativen Größen haben.

Was die Dicke des Doppelringes betrifft, so ist dieselbe jedenfalls sehr unbeträchtlich; doch ist sie von verschiedenen Astronomen verschieden gefunden worden. *Herschel* bestimmte sie zu nur 22 geogr. Mln., *Bessel* aus rein theoretischen Untersuchungen zu 29,6, *Schröter* aber aus seinen Beobachtungen zu 119 geogr. Mln. Man sieht hieraus, daß die Dicke des Ringes nur sehr unvollkommen bekannt ist.

In neuerer Zeit ist der äußere, gewöhnlich in matterem Lichte leuchtende Ring wieder als in zwei ungleiche Theile getheilt beobachtet werden, und zwar der Art, daß der äußerste Ring der schmalste ist, und die Astronomen des *Collegio R mano* wollen außer den genannten noch mehrere Theilungen im äußeren Ringe gesehen haben. Von anderen Astronomen ist Aehnliches wahrgenommen worden; doch haben die Theilungen eine große Veränderlichkeit gezeigt, so daß man bisher geneigt war, an einen fast flüssigen Aggregatzustand

des äußeren Ringes und an noch jetzt vor sich gehende Theilungen zu glauben. In neuster Zeit hat Prof. *Maxwell* in Aberdeen aus mechanischen Gründen abgeleitet, daß die Ringe, um in Gleichgewicht bleiben zu können, aus einer Menge unzusammenhängender Körperchen bestehen müssen, die um den Planeten nach Maßgabe ihrer Entfernung von demselben mit verschiedener Geschwindigkeit kreisen. Die Körperchen könnten zu bestimmten Ringen geordnet sein, aber infolge von Störungen auch aus einem Ring in den andern übergehen. Es würden dadurch die in der Dicke der Ringe bemerkten Unregelmäßigkeiten ihre Erklärung finden. Die Masse aller Ringe beträgt nach *Bessel* $^1/_{118}$ der Saturnsmasse, und wenn *Herschels* Angabe der Dicke richtig ist, so würde die Dichtigkeit derselben die Saturns ein wenig übertreffen.

2. **Ein dunkler Ring Saturns.** Außer den bisher erwähnten, helles Licht reflektirenden Ringen ist im December 1850 von *Bond* in Cambridge zwischen Saturn und dem inneren Ringe noch ein dunkler Ring entdeckt worden, der etwa $^1/_3$ des Raumes zwischen dem Hauptplaneten und dem ersten Ringe ausfüllt. Dieser Ring, der durch einen dunklen Streifen von dem inneren Ringe deutlich geschieden ist, wurde auch von *Dawes* und *Bessel* fast um dieselbe Zeit wahrgenommen.

Genauere Beobachtungen dieses Ringes durch die genannten Beobachter haben dargethan, daß dieser Ring einen gewissen Grad von Durchsichtigkeit besitze, indem sich sein dunkelgrauer Schatten von dem vollkommen schwarzen Schatten der hellen Ringe deutlich unterscheiden ließ; auch ist von beiden Männern die Saturnskugel durch den dunklen Ring hindurch deutlich gesehen worden. *Dawes* ist geneigt, diesen Ring als in einem flüssigen Zustande befindlich anzusehen. Da aber die Saturnskugel, durch ihn gesehen, die Gestalt nicht ändert, also keine Brechung des Lichtes bewirkt wird, so kann die Masse nicht gasförmig sein. Wahrscheinlicher ist eine Anhäufung nicht zusammenhängender Körperchen, die, wie die Kometenmasse, das Licht zwischen sich hindurchlassen. Der Ring dürfte ein Analagon in dem Zodiakallichtringe der Sonne haben. Die Breite des Ringes ist durch *O. Struve* zu 2″,04 bestimmt worden, was etwa 1940 Mln. betragen würde. Uebrigens hat *Secchi* u. a. nachgewiesen, daß der dunkle Ring Saturns bereits früher gesehen worden ist.

3. **Neigung und excentrische Lage der Ringe.** Was die Lage der Ringe betrifft, so fallen ihre Ebenen nicht genau zusammen; die Abweichungen sind aber nur sehr unbeträchtlich, und im allgemeinen können die Ringe als mit der Ebene des Saturn-Aequators zusammenfallend angenommen werden. Weit bedeutender ist ihre Neigung gegen die Ebene der Ekliptik. Von dieser weichen sie nicht weniger als 28° 10′ 34″ ab, so daß sich die Erde um die genannte Größe über die Ebene der Ringe erheben und ebenso tief unter dieselbe senken kann. Die gerade Linie, in welcher die Ebene der Ringe die der Ekliptik schneidet, oder die Knotenlinie des Ringes, geht eigentlich nicht immer durch die Sonne; allein in Beziehung auf die unermeßlich weit ent-

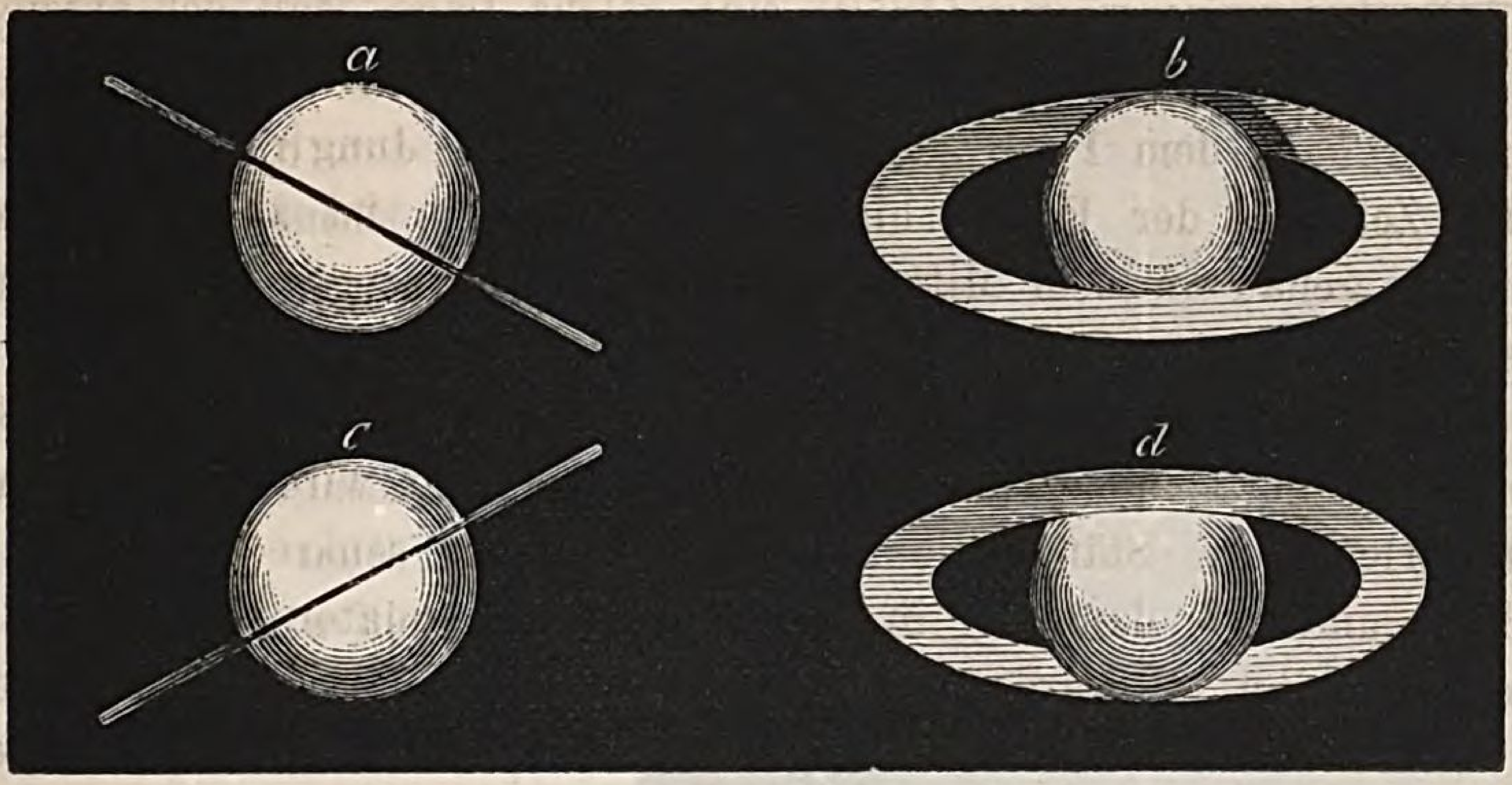
fernten Fixsterne kann sie als stets durch die Sonne gehend angenommen werden. Sie hat gegenwärtig (1850) eine solche Lage, daß der aufsteigende Knoten nach dem 167sten, der absteigende nach dem 347sten Grade der Ekliptik, oder nach dem 17. Grade des Zeichens der Jungfrau resp. dem 17. Grade des Zeichens der Fische hinweiset. Außerdem ist zu bemerken, daß Saturn nicht genau in dem Mittelpunkte der Ringe, sondern etwa 200 Mln. excentrisch steht.

4. **Erscheinung des Ringes von der Erde aus.** Der Ring Saturns (wir wollen ihn jetzt immer als ein Ganzes auffassen) wird, wie dieser, von der Sonne erleuchtet. Stände die Achse des Planeten senkrecht auf der Ebene seiner Bahn und fiele dann der in der Ebene des Aequators liegende Ring in die Ebene der Bahn, so würde derselbe nur auf der schmalen Kante beleuchtet werden, während die Fläche des Ringes von den Sonnenstrahlen nur gestreift werden könnte. Es würde in diesem Falle schwer halten, den Ring von der Erde aus zu sehen; man würde ihn in sehr lichtstarken Fernröhren nur als eine schmale, durch die Mitte der Saturnsscheibe gehende Lichtlinie erblicken, wie er in der That zuweilen beobachtet wird. Allein bei der angegebenen Neigung des Ringes zur Ekliptik von c. 28° und wegen des Umstandes, daß, wie die Achse Saturns, auch der Ring sich selbst parallel fortschreitet, muß in dem langen Saturnsjahr abwechselnd fast 15 Jahre lang die obere (nördliche) und fast 15 Jahre lang die untere (südliche) Fläche des Ringes, zweimal aber, und zwar bei dem angedeuteten Wechsel der Beleuchtung, der Ring von der Kante beleuchtet werden. Man kann sich übrigens die Sache leicht veranschaulichen, wenn man eine Saturn vorstellende Kugel etwa mit einem Pappringe von entsprechender Breite und in entsprechender Entfernung von der Kugeloberfläche umgiebt, und nun die Kugel bei geneigter Achse um eine Lampe führt. Dieses einfache Experiment würde ferner dazu dienen klar zu machen, wie der Ring einem Auge in dem Mittelpunkte der Sonne erscheinen müßte.

Steht nämlich Saturn in dem aufsteigenden Knoten seines Ringes, in 167° Länge (heliocentrisch), so muß die Ebene des Ringes durch die Sonne gehen, dieser also von seiner Kante erleuchtet gesehen werden. Saturn würde wie in *Fig. 99 a* erscheinen. Zu dieser Zeit würde die nördliche Halbkugel Saturns ihren Frühling haben, die Lichtgrenze durch die beiden Pole des Planeten gehen, der Schatten des Ringes aber mit dem Aequator zusammenfallen. Saturn hätte eine Stellung zur Sonne, welche der der Erde am 21. März entspricht.

Nach $^1/_4$ Saturnsjahr, d. i. nach etwa $7^3/_8$ Erdenjahren, wird Saturn 90° von dem aufsteigenden Knoten des Ringes entfernt sein und eine Stellung zur Sonne haben, die der der Erde am 21. Juni entspricht. Der Nordpol Saturns und auch die Ringebene neigt sich etwa 28° der Sonne zu, und der auf der nördlichen Seite erleuchtete Ring wird sich als eine Ellipse darstellen, wie es *Fig. 99 b* zeigt. Der Schatten des Ringes aber muß auf die südliche Halbkugel Saturns fallen.

Fig. 99.



Während des folgenden Vierteljahres Saturns nähert sich der Planet dem absteigenden Knoten des Ringes; dieser letztere wird immer schmaler, bis er am Anfange des Herbstes Saturns, etwa 15 Jahre nach der zuerst beschriebenen Stellung, wieder als feine Linie wie in *Fig. 99 c* erscheint.

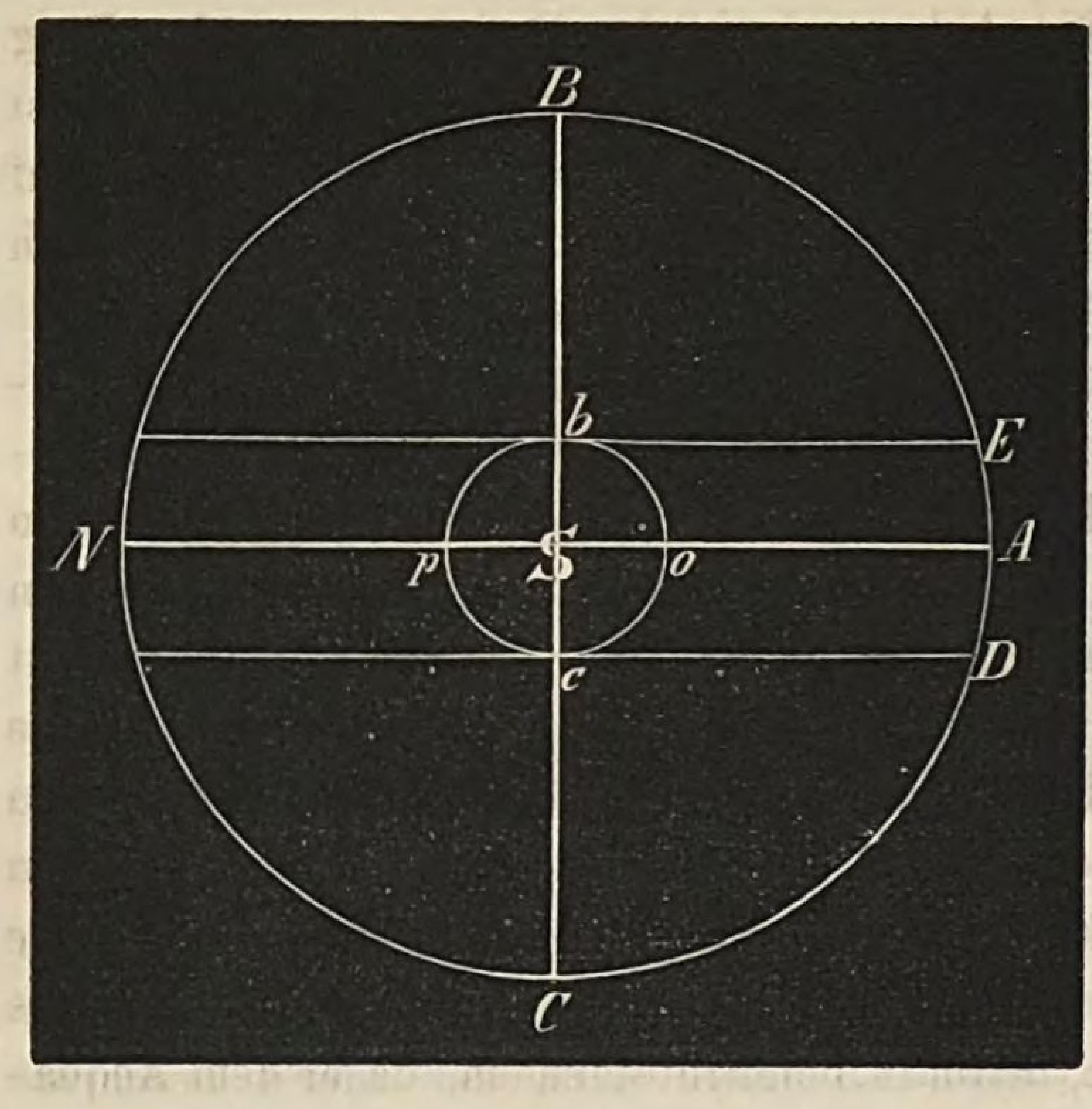
Im Laufe des folgenden Vierteljahres muß sich der Ring wieder als breiter und breiter werdende Ellipse zeigen, allein auf der unteren Seite erleuchtet, da sich der Nordpol des Planeten mehr und mehr von der Sonne abwendet, und in der Mitte der beiden Knoten des Ringes, $22^1/_{10}$ Jahr nach der ersten Stellung, muß er sich in der in *Fig. 99 d* dargestellten Gestalt zeigen.

Bei der Annäherung Saturns an den aufsteigenden Knoten des Ringes wird dieser letztere wieder schmaler und schmaler, bis er nach Verlauf eines ganzen Saturnsjahres wieder als gerade Lichtlinie erscheint. Aus der Darstellung der vier Hauptgestalten, in welchen Saturn sich zeigt, wird man sich leicht die Gestalt desselben in den Zwischenstationen vorstellen können.

Wäre die Erdbahn der Saturnsbahn gegenüber als ein Punkt zu betrachten, so würde auch von der Erde aus Saturn sich genau in der beschriebenen Weise darstellen, und sein Ring müßte im Laufe von 30 Erdenjahren für schwache Fernröhre zweimal verschwinden. Jenes ist indessen nicht der Fall, und die Größe der Erdbahn hat einigen, wenn auch im allgemeinen nur geringen Einfluß auf die Erscheinung und das Verschwinden des Ringes.

Es sei, um nur einiges anzuführen, in der folgenden *Fig. 100* der äußerste Kreis *ABNC* die Saturnsbahn, *obpc* die Erdbahn, *S* die Sonne und *AN* die Knotenlinie des Ringes. Bedeutet *A* den aufsteigenden Knoten des Ringes, so muß nach dem Vorigen der Ring in *A* und *N* verschwinden, in *B* aber wie in *Fig. 99 b*, und in *C* wie in *Fig. 99 d* erscheinen. Stände, wenn sich die Erde nach dem Punkte *b* hin bewegt, Saturn in *A*, so müßte der Ring verschwunden sein, da er nur von der Kante erleuchtet ist. Während sich aber Saturn von *A* bis *E* bewegt, müßte unter Umständen die obere Fläche des Ringes, wenn auch nur als ganz schmale Ellipse, sichtbar werden. Der Ring müßte aber

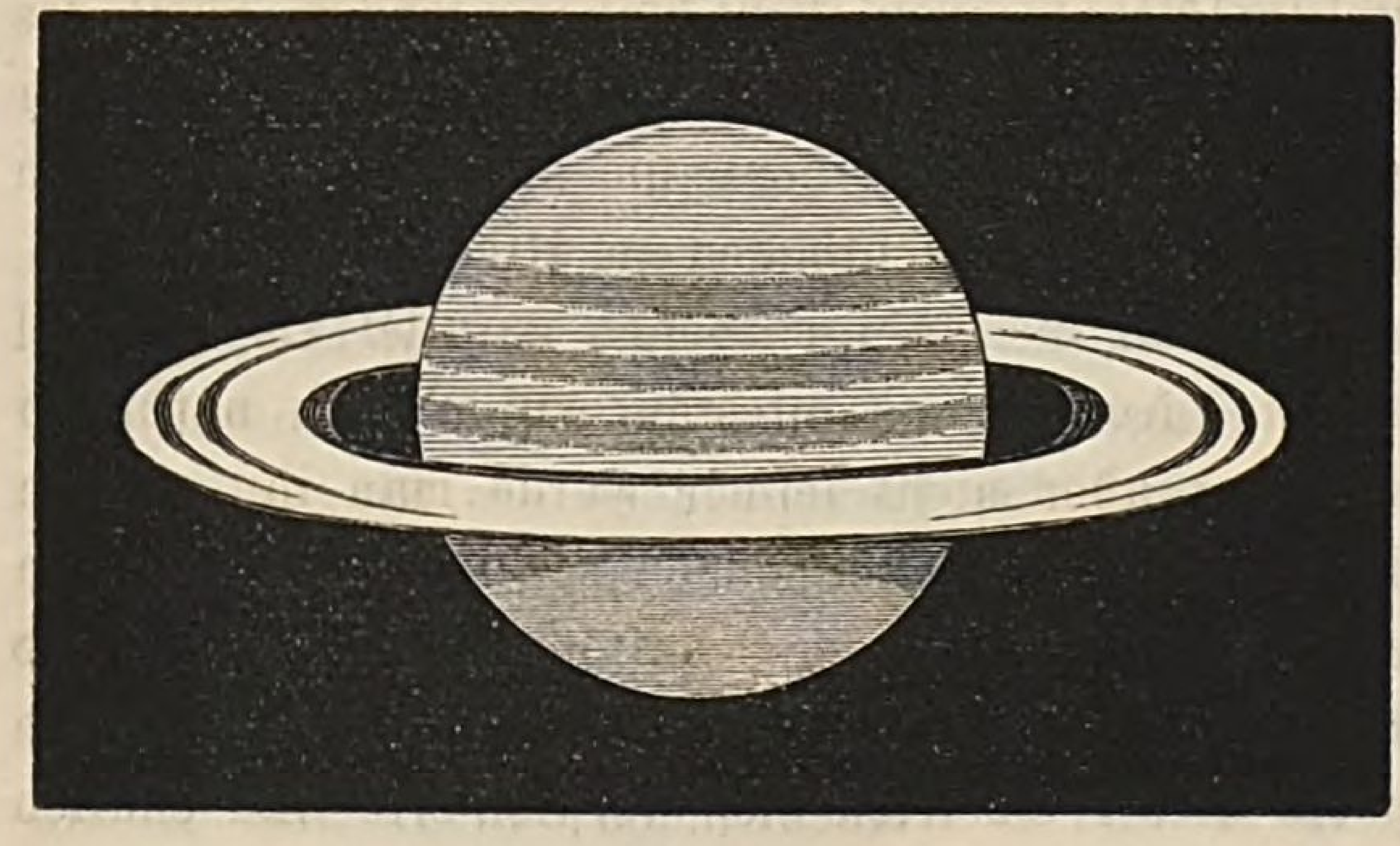
Fig. 100.



zum zweitenmale unsichtbar werden, wenn Saturn in E angekommen wäre und die Erde in b stände; denn alsdann müßte offenbar die Ebene des Ringes durch die Erde gehen und dieser noch dazu der Erde die unerleuchtete Kante zukehren. Das Verschwinden des Ringes in den angedeuteten Fällen könnte aber nur kurze Zeit währen.

Anders würde es sich gestalten, falls die Erde sich von c nach o, Saturn aber von D nach A sich bewegte; denn alsdann würde die der Erde zugekehrte Fläche des Ringes noch dunkel sein, und auf diese Weise der Ring längere Zeit hindurch unsichtbar bleiben können. Man sieht übrigens leicht ein, daß Abweichungen der bezeichneten Art sich nur ereignen können, wenn Saturn sich in der Nähe der Knoten des Ringes befindet, weil nur alsdann die Ebene des Ringes die Erdbahn schneiden kann, und es dauert dies im allgemeinen höchstens ein Jahr. Zu allen anderen Zeiten geht die Ebene des Ringes über die Erdbahn hinaus, und der Ring muß darum ohne Unterbrechung etwa 14 Jahre lang von der oberen, und ebenso lange von der unteren Seite erleuchtet gesehen werden. Wie schon angegeben, erscheint in der mittleren Entfernung Saturns der Halbmesser des Ringes unter einem Winkel von 20″,047; zur Zeit der größten scheinbaren Oeffnung des Ringes wird diese Oeffnung, oder besser die kleine Achse des elliptisch erscheinenden Ringes, unter einem Winkel von 9″,55 gesehen. In *Fig. 101* ist Saturn mit seinen Ringen und den schon erwähnten Streifen dargestellt.

Fig. 101.



5. **Rotation des Ringes.** Bei dem Verschwinden des Ringes hat man die Erfahrung gemacht, daß dasselbe nicht für beide Seiten des Ringes zu gleicher Zeit erfolgt, und hierdurch die Ueberzeugung gewonnen, daß die Ringe nicht vollkommen eben sind, sondern mannigfache Unebenheiten besitzen. Die genaue Beobachtung der hierdurch hervorgebrachten Flecken des

Ringes hat *Herschel* zu dem Resultate geführt, daß der Ring in derselben Zeit rotirt, in der sich Saturn um seine Achse schwingt. Daß übrigens der Ring rotiren muß, ist mehrfach auch theoretisch bewiesen worden; es würde sonst die kleinste Störung hinreichen, das Gleichgewicht zu stören und die Ringe auf den Planeten zu stürzen. Außerdem ist es höchst wahrscheinlich, daß auch der Ring, wie Saturn, mit einer Atmosphäre versehen ist.

6. **Anblick des Ringes von Saturn aus.** Einen eigenthümlichen Anblick müssen die Ringe von Saturn aus gewähren. Allein trotz der nicht unbeträchtlichen Entfernung, in welcher namentlich der äußerste Ring sich vom Planeten befindet, sind dieselben nicht in allen Gegenden zu sehen. An den Polen sind sie gänzlich unsichtbar, und erst in einer Breite von 66° 36′ kommt der äußerste Ring tief unten am Horizonte zum Vorschein. Erst in einer Breite von 53° 28′ tritt auch der innerste Rand des innersten hellen Ringes über den Horizont; aber in einer Breite von 37° 30′ würde das ganze Ringsystem am vortheilhaftesten überschaut werden können. Es würde hier in einer Breite von 15° 26′,2 erscheinen. Nur auf dem Aequator würde man die Hälfte des Ringes, diesen aber nicht sehr vortheilhaft beleuchtet sehen, da er dem Aequator nur die scharfe Kante zukehrt. Höchstens kann er sich, falls, wie es wahrscheinlich ist, die innere Kante nicht flach, sondern abgerundet ist, als ein schmaler, leuchtender Lichtbogen zum Zenithe hinaufziehen. Im Frühlinge und Herbste Saturns, wenn der Ring auf der äußeren Kante beleuchtet wird, muß der Schatten des Ringes für alle Bewohner des Aequators und der diesem nahen Gegenden eine lange währende Sonnenfinsternis hervorrufen, und zu andern Zeiten muß er auch den Bewohnern größerer Breiten, wenn ihnen der Ring die dunkle Seite zukehrt und sie in dem Schatten desselben sich befinden, auf lange Zeit den Anblick der Sonne und mit ihm Licht und Wärme entziehen. Dann wird wahrscheinlich der Ring sich als ein dunkler Bogen über den Himmel ziehen, der während der Nacht einen nicht unbedeutenden Theil des Sternenhimmels verdeckt. Und nicht weniger als fast 15 unserer Jahre muß der Ring für jede Halbkugel Saturns unsichtbar bleiben, um sich dann in andern 15 Jahren als ein schmalerer oder breiterer Lichtbogen am Himmel darzustellen. Sonne, Monde und Sterne würde man diesem Lichtbogen parallel am Himmel ihre Tagkreise beschreiben sehen. Am interessantesten würde sich natürlich der Ring in der Nacht ausnehmen; aber nicht immer würde man ihn als ein ununterbrochenes Gewölbe über den Nachthimmel ziehen sehen. Bei niedrigem Sonnenstande zur Zeit der Aequinoctien würde der Schatten Saturns eine große Lücke aus dem Lichtbogen herausschneiden, bis allmählich beim Hinaufsteigen der Sonne zur Zeit des Sommers dieser Schatten sich verkleinerte und endlich der ganze Bogen sich der Betrachtung darböte. Im allgemeinen aber muß der Ring dem Saturn mehr Licht entziehen, als er ihm zu spenden vermag.

7. **Anblick Saturns von dem Ringe aus.** Gewiß noch großartiger, als die Ringe vom Saturn, muß sich dieser von jenen ausnehmen. Am äußersten Rande des Ringes muß sich Saturn als eine Halbellipse darstellen, deren größter

(Aequatorial-) Durchmesser nicht weniger als 51°,2, und deren (Polar-) Halbmesser 23°,4 beträgt. Vom innersten Rande aber würden die genannten Werthe nicht weniger als 82° resp. 36°,3 betragen. Hier würde sich die Saturnskugel nicht weniger als 20000 mal so groß als uns auf der Erde die Sonne erscheinen, und eigenthümlich müßte sich diese Kante als Horizont gestalten. Wahrscheinlich würde sie sich, von der Saturnskugel beleuchtet, als ein Lichtbogen darstellen, der der großen Saturnsscheibe sich zustreckte, um sie zu umfassen. Außer dem Angedeuteten würde uns Saturn und seine Ringe, wenn wir auf dieselben versetzt werden könnten, noch manches zeigen, was uns in Erstaunen und Verwunderung setzen müßte; allein wir wollen das Bild nicht näher ausführen, sondern die Vervollständigung desselben der Neigung des denkenden Lesers überlassen.

III. Die Monde Saturns.

Außer dem Ringsysteme umkreisen Saturn wahrscheinlich 8 Monde, von denen indessen der letzte erst in der neuesten Zeit entdeckt worden ist. Es sind nämlich diese Himmelskörper wegen der großen Entfernung Saturns von uns und von der Sonne und der damit verbundenen Schwäche des Lichtes nur sehr schwer zu sehen. Eine Ausnahme hiervon macht nur der 6. Mond, der alle übrigen Monde an Glanz übertrifft, und deshalb bereits seit dem Jahre 1655 bekannt ist. Bis zum Jahre 1684 wurden außer diesem noch der 8., 5., 3. und 4. von *Cassini* entdeckt. Im Jahre 1789 entdeckte *W. Herschel* den 1. und 2. Mond; aber erst 1848 ward der 7. von *Bond* und *Lassell* fast gleichzeitig aufgefunden.

Fast alle Monde schwingen sich in der Ebene der Ringe um den Hauptplaneten, und nur der 8. weicht in seiner Bahn sehr merklich, über 12°, von jener Ebene ab. Ueber Größe, Masse, Dichtigkeit der einzelnen Monde ist so gut wie nichts Zuverlässiges bekannt; auch haben die Excentricitäten der Bahnen noch nicht bei allen genau bestimmt werden können. Wegen des geringeren Interesses, das die Monde Saturns gewähren müssen, da sie sich selbst in guten Fernröhren der Beobachtung entziehen, verzichten wir auf eine eingehendere Besprechung der einzelnen Monde und stellen in der folgenden Uebersicht neben den gebräuchlichen Namen der einzelnen Monde ihre Entfernung vom Hauptplaneten, sowie ihre Umlaufszeiten zusammen, wie sich dieselben mit Benutzung der ersten Berechnungen Sir *John Herschels* aus Beobachtungen am Cap der guten Hoffnung in den Jahren 1835 und 1837 ergeben haben.

Bemerkenswerth ist die außerordentliche Nähe, in welcher sich der 1. Mond von dem Hauptplaneten befindet; er ist nämlich verhältnismäßig kaum halb so weit vom Mittelpunkte Saturns, als unser Mond von der Erde entfernt, indem die Entfernung des Mondes nur 25600 Mln. betragen soll. Von der äußersten Kante des Ringes steht er daher nur wenig über 7000 Mln. ab. Wie groß muß dieser Mond von der Oberfläche Saturns und noch mehr von der äußersten Kante des Ringes erscheinen!

Nummer und Name des Mondes.		Entfernung von dem Mittelpunkte Saturns in Halbmessern dieses.	Umlaufszeiten.			
			Tg.	Stdn.	Min.	Sek.
I.	Mimas	3,1408	0	22	36	17,7
II.	Enceladus	4,0319	1	8	52	57,3
III.	Thetys	4,9926	1	21	13	32,9
IV.	Dione	6,3990	2	17	44	51
V.	Rhea	8,9320	4	12	25	10,8
VI.	Titan	20,7060	15	22	41	25,2
VII.	Hyperion	28,0000 ?	21	4	—	—
VIII.	Japetus	64,3590	79	7	53	40,4

Die Vergleichung der Entfernungen und Umlaufszeiten hat ergeben, daß auch die Satelliten Saturns dem dritten Gesetze *Keplers* gehorchen. Außerdem ist als eine merkwürdige Thatsache anzuführen, daß die Umlaufszeit des 3. Mondes das Doppelte der des 1., und die des 4. das Doppelte der des 2. ist.

8. Das System des Uranus.

I. Uranus ♅.

1. **Zeit der Entdeckung.** Bis zum Jahre 1781 bezeichnete Saturn die äußerste Grenze des Sonnensystems; allein durch die zufällige Entdeckung des Uranus am 13. März des genannten Jahres durch *William Herschel* wurde diese Grenze fast um das Doppelte hinausgerückt; zugleich war dieser Planet der erste, durch dessen Auffindung die Zahl der den Alten bekannten Planeten eine Bereicherung erfuhr. Der genannte große Astronom fand ihn zufällig, indem er eine Sterngruppe in den Zwillingen näher beobachtete. Die Scheibenform, welche er im Fernrohr zeigte, und die mit der Steigerung der Vergrößerung ebenfalls wachsende scheinbare Größe des Sterns machte ihn vor den Fixsternen auffällig; allein wegen des schwachen Lichtes, in dem der Planet erschien, wurde er von dem Entdecker anfangs für einen Kometen gehalten, bis sich später seine planetarische Beschaffenheit unzweifelhaft herausstellte. Es war nämlich der Planet, wie *Bode* zeigte, bereits früher beobachtet und in seiner Position bestimmt worden. Hierdurch waren Elemente für die Berechnung der Bahn gegeben, mit deren Hilfe es schnell gelang, die Art der Bewegung des Planeten zu bestimmen, ohne erst nöthig zu haben, durch langjährige Beobachtungen die zur Rechnung nothwendigen Stücke mühsam aufzusuchen.

2. **Excentricität und Neigung der Bahn.** Die lange Bahn des Uranus ist noch mehr dem Kreise genähert als die Jupiters; denn ihre Excen-

tricität beträgt nur 0,04657 oder etwa $^1/_{21}$ der halben großen Achse; auch ist die Neigung der Bahn zur Ekliptik nur sehr unbedeutend, indem sie um einen Winkel von nur 46′ 28″ von der letzteren abweicht.

3. **Entfernung von der Sonne und Erde.** Die mittlere Entfernung des Uranus von der Sonne beträgt 19,18264 Sonnenweiten oder etwa $396^1/_2$ mill. Meilen. In seinem Perihel befindet er sich in einem Abstande von 378,29 mill. Meilen, in seinem Aphel von 424,89 mill. Meilen von der Sonne. Der Erde kann er sich zur Zeit seiner Opposition bis auf 357 mill. Mln. nähern, und sich bei seiner Conjunction bis auf 436 mill. Mln. von ihr entfernen.

4. **Scheinbare und wahre Größe.** Dieser veränderlichen Entfernung entspricht die verschiedene scheinbare Größe, in welcher der Planet von der Erde gesehen wird; es schwankt nämlich der scheinbare Durchmesser zwischen 4″,7 und 3″,9, so daß derselbe im Mittel 4″,3 beträgt.

Die Sonne erscheint auf dem Uranus unter einem Winkel von nur 100″ oder kaum noch einmal so groß, als von uns Venus gesehen wird, und 19 mal so klein im Durchmesser, als uns die Sonne erscheint. Die Beleuchtung durch die Sonne ist darum auf Uranus nur gering; sie beträgt 0,003 der der Erde. Dessen ungeachtet erscheint er heller als die Pallas; man hat deshalb bei ihm, wie bei den beiden vorigen Planeten, auf eigene Lichtentwicklung schließen wollen.

Der Durchmesser des Uranus beträgt 8226 geogr. Mln.; er ist demnach 4,79 mal so groß als der der Erde. Die Oberfläche des Uranus übertrifft die Erdoberfläche 21,4, sein Volumen das der Erde 98,9 mal.

5. **Masse und Dichtigkeit.** Aus den Umlaufszeiten seiner beiden ersten Monde hat man die Masse des Uranus zu $\frac{1}{20900}$ der Sonnenmasse bestimmt. Es würde hiernach seine Masse 17 mal die Erdmasse, seine Dichtigkeit aber nur 0,173 der der Erde sein; er wäre demnach weniger dicht als Jupiter, aber etwas dichter als Saturn. Die Richtigkeit der Größenangaben vorausgesetzt, würde ein Körper auf der Oberfläche des Uranus freifallend in der ersten Sekunde $11^1/_4$ Par. Fuß zurücklegen und 100 unserer Pfunde mit einem Gewicht von 75 Pfunden drücken.

6. **Rotation.** Nach *Mädler* hätte Uranus eine bedeutende Abplattung, und zwar soll diese nicht weniger als etwa $^1/_{10}$ des Aequatorial-Halbmessers betragen. Dies würde eine große Rotationsgeschwindigkeit voraussetzen; doch ist die Angabe, wonach der Planet in 7 Stdn. 5 Min. 7 Sek. rotire, noch sehr ungewiß, wie überhaupt das Meiste über die auf diesem Weltkörper herrschenden physischen Verhältnisse.

7. **Revolution.** Seine 2425 mill. Mln. lange Bahn durchläuft Uranus siderisch in 84 Jahren 5 Tg. 19 Stdn. 40 Min. 48 Sek.; er legt demnach in jeder Sekunde durchschnittlich nur 0,9 Mln. zurück, so daß er noch nicht $^1/_4$ der Bahngeschwindigkeit der Erde besitzt.

Wie sich die Jahreszeiten auf Uranus gestalten mögen, ist kaum anzu-

geben, da man über die Lage der Achse zur Bahn fast ganz im Dunkeln ist. Einigen Anhalt in dieser Beziehung gewähren die Bahnen seiner Monde. Bei Jupiter und Saturn fielen diese Bahnen fast mit der Ebene des Aequators zusammen. Nun fand *Herschel*, daß die Bahnen der Uranusmonde mit der Ekliptik einen Winkel von 78° 58′, also fast einen rechten Winkel bildeten; es ist deshalb zu vermuthen, daß die Achse des Uranus nahezu mit der Ebene der Bahn zusammenfallen werde. *Mädler* fand als wahrscheinliche Neigung des Aequators zur Bahn fast 85°. Wäre diese Neigung richtig, so würde der Planet zu Zeiten, wenn seine Achse im Sommer der Pole zur Sonne gerichtet ist, sich auf seinen Aequator fortrollen. Welche Folgen hinsichtlich der Beleuchtung durch die Sonne und für die Entwicklung der Jahreszeiten es haben muß, falls die Achse nahezu in die Ebene der Bahn fiele, ist bereits S. 157 ff. angegeben worden: Es müßten alle Punkte der Oberfläche des Uranus die Sonne im Zenithe und ebenso im Horizonte haben können, ohne daß sie sich über denselben erhöbe; die Pole würden abwechselnd 42 Jahre lang ununterbrochenen Tag und ebenso lange ununterbrochene Nacht haben u. s. w. Unter diesen Umständen dürfte Uranus wohl nicht als ein Wohnplatz für Menschen und andere irdische, organische Wesen empfohlen werden können.

II. Die Monde des Uranus.

Uranus vollendet seine weite Reise um die Sonne nicht einsam, sondern er wird auf derselben wahrscheinlich von acht Monden begleitet, von denen der Entdecker des Planeten sechs als feine Lichtpünktchen in seinem Riesentelescope gesehen hat. Aber nicht alle diese Monde sind seitdem wiedergesehen worden; sicher ist dies nur mit dem 1., 2., 4. und 6. geschehen. Noch gar nicht wieder aufgefunden ist der 5., unsicher gesehen der 3. Satellit. Im October und November 1851 hat indessen *Lassell* mit seinem mächtigen Fernrohre zwei neue Uranusmonde gesehen und beobachtet, die dem Hauptplaneten noch näher stehen als der 1. Mond *Herschels*. Während *Herschel* diesem Monde eine Umlaufszeit von 5 Tg. 21 Stdn. zuschrieb, haben sich die der beiden letztentdeckten zu 4 und 2½ Tg. ergeben. Doch sind diese Angaben nur ungefähre Bestimmungen; es fehlt noch sehr viel an einer gründlichen Erforschung aller diese Monde betreffenden Verhältnisse. Daß diese Monde aus einer so großen Entfernung von ihrer Existenz noch Kunde geben, spricht für eine nicht unbedeutende Größe derselben. Als eine merkwürdige Erscheinung ist endlich noch zu erwähnen, daß, während die Monde aller Planeten sich von W. nach O. um ihren Hauptplaneten schwingen, die Monde des Uranus sich von N. nach S. um diesen bewegen, was in der eigenthümlichen Lage der Achse des Hauptplaneten seinen Grund haben mag.

9. Das System des Neptun.

I. Neptun ♆.

1. Merkwürdige Entdeckung des Planeten. Es ist schwer, genau die Zeit der Entdeckung dieses bis jetzt äußersten aller Planeten anzugeben, indem derselbe bereits 1792 im Mai, man kann sagen, vor seiner Entdeckung mehrere Male gesehen, aber nicht als Planet erkannt worden ist, da man ihn seiner Kleinheit wegen für einen Fixstern hielt. Doch am 23. September 1846 ist er von *Galle*, jetzigem Director der Sternwarte zu Breslau, auf merkwürdige Veranlassung als Planet entdeckt worden, und mit seiner Auffindung hat die Wissenschaft einen ihrer herrlichsten Triumphe gefeiert.

Alle Himmelskörper besitzen nämlich die Eigenschaft, einander anzuziehen. Hierdurch wird die Bewegung der Planeten um die Sonne eine sehr verwickelte, indem jeder Planet seinen Nachbar-Planeten nach Maßgabe seiner Masse und Entfernung von ihm aus seiner Bahn abzulenken und zu sich hin zu ziehen strebt. Man pflegt diese Ablenkung mit dem Namen der Störung zu belegen. Wegen dieser Störungen steht kein Planet da in seiner Bahn, wo er sich befinden würde, falls die Sonne allein seine Bewegung regelte; will man daher den Ort eines Planeten am Himmel für eine bestimmte Zeit angeben, so muß auf den bezeichneten Einfluß der Nachbar-Planeten Rücksicht genommen werden. Es ist eine von Astronomen oft gelöste Aufgabe, die Einwirkung zu berechnen, die ein störender Planet auf die Bewegung eines andern Planeten ausübt, wenn Masse und Entfernung des störenden bekannt sind. So waren unter andern auch die Störungen berechnet, welche Uranus namentlich durch Saturn und Jupiter erfährt. Wenn man aber den beobachteten Ort des Uranus mit dem aus den Rechnungen gefolgerten verglich, so zeigte sich nicht derjenige Grad der Uebereinstimmung, den man sonst zu erreichen pflegte, und mehrere Astronomen, namentlich *Bessel*, waren geneigt, die Ursache der Nichtübereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung in der Existenz eines transuranischen, unbekannten Planeten zu suchen. Um über Ort, Masse etc. des vermutheten Planeten ins Klare zu kommen, mußte eine umgekehrte Störungsrechnung, nämlich aus den gegebenen Störungen eines bekannten Planeten die Elemente eines unbekannten, störenden herzuleiten, gelöst werden. Wenigstens annäherungsweise bekannt war zu dieser schwierigen Rechnung die Entfernung des vermutheten Planeten von der Sonne; denn nach dem S. 285 mitgetheilten *Bode*schen oder *Titius*schen Gesetze mußte der neue Planet in einer Entfernung von etwa 776 mill. Mln. von der Sonne sich befinden. An die Lösung der bezeichneten Aufgabe machten sich fast gleichzeitig, aber völlig unabhängig von einander, zwei Männer, *Adams* zu Cambridge und *Leverrier* zu Paris. Ersterer theilte schon im September 1845 dem Professor *Challis* zu Cambridge, sowie dem Astronomen *Airy* zu Greenwich die Resultate seiner Rechnungen mit, ohne jedoch etwas darüber zu publiciren. Wenig später hatte sich auch

Leverrier mit Erfolg an die Lösung des schweren Problems gemacht, und als man nach Veröffentlichung einiger Resultate seiner mühsamen Rechnungen im Juni 1846 in England eine wesentliche Uebereinstimmung mit den bisher unbeachtet gebliebenen *Adams*chen Resultaten fand, beobachtete man die Gegend des Himmels, wo nach *Adams* der neue Planet sich finden sollte, und fand auch am 30. Juli 1846 den Stern, trug ihn aber als Fixstern in die entworfene Karte ein. Am 31. August 1846 machte *Leverrier*, ohne von diesem Umstande Kenntnis zu haben, die weiteren Resultate seiner Rechnungen öffentlich bekannt. Nach ihm betrug die Masse des neuen Planeten $\frac{1}{9300}$ der Sonnenmasse, seine Entfernung von der Sonne 36,154 Halbmesser der Erdbahn, seine Umlaufszeit 217,387 Jahr, die Excentricität der Bahn 0,10761, die Länge des Perihels 284° 45′, und die wahre Länge am 1. Januar 1847 = 326° 32′, so daß er also c. 33°,06 von der Sonne oder c. 5° östlich vom Sterne δ des Steinbocks stehen mußte.

Durch einen Brief ward *Galle* von diesen Resultaten in Kenntnis gesetzt. Er durchforschte die bezeichnete Stelle des Himmels und war so glücklich, am 23. Septbr. 1846 den neuen Planeten nahe an dem bezeichneten Orte aufzufinden. Begünstigt ward die Auffindung durch die vortreffliche Sternkarte der Berliner Akademie von *Bremiker*. Mit diesen glänzenden Entdeckungen feierte die mathematische Analysis einen ihrer herrlichsten Triumphe, und sie hat sich in ihrer Zuverlässigkeit glänzend bewährt. Da man den gefundenen Stern schon im Jahre 1792 beobachtet hatte *(Lalande)*, so ist es möglich geworden, aus dem damit bekannt gewordenen Theil der Bahn schon jetzt die wichtigsten Elemente dieses Planeten zu bestimmen; doch hat sich zwischen diesen letzteren und den auf rein theoretischem Wege gefundenen Resultaten eine nicht unerhebliche Differenz gefunden, was bei der Schwierigkeit der Rechnung nicht Wunder erregen kann.

2. **Excentricität und Neigung der Bahn.** So ist die Excentricität der Bahn eine nur sehr geringe; denn sie beträgt nur 0,00917, d. i. etwa $^1/_{115}$ der halben großen Achse, so daß die Neptunsbahn nächst der Venusbahn sich am meisten dem Kreise nähert. Von der Ekliptik weicht die Bahn des Planeten nur 1° 47′ ab.

3. **Entfernung von der Sonne.** Die mittlere Entfernung Neptuns von der Sonne ist nicht, wie *Leverrier* gefunden, 36,154, sondern nur 30,03386 Sonnenweiten = 621,2 mill. Mln. Der größte Abstand aber beträgt 626,9, der kleinste 615,5 mill. Mln. Der Erde kann der Planet sich bis auf 597 mill. Meilen nähern, sich aber bis auf 648 mill. Meilen von ihr entfernen.

4. **Scheinbare und wahre Größe.** Im letzteren Falle erscheint Neptun unter einem Durchmesser von 2″,4, im ersteren von 2″,7, so daß der mittlere scheinbare Durchmesser 2″,5 beträgt. Dies setzt einen wahren Durchmesser von 7653 (nach *Mädler* von 7500) geogr. Mln. voraus. Er übertrifft demnach den Erddurchmesser 4,55 mal an Größe; die Oberfläche des Planeten ist darum

fast 20, das Volumen 88,3mal so groß als die entsprechenden Größen der Erde.

5. **Masse und Dichtigkeit.** Was die Masse Neptuns betrifft, so schwanken die Angaben darüber zwischen $\frac{1}{14446}$ und $\frac{1}{20000}$ der Sonnenmasse. Ist die letztere Angabe die richtige, so würde die Dichtigkeit 0,203 der der Erde oder $1^1/_6$ im Verhältnis zum Wasser sein. Neptun wäre hiernach etwas dichter als sein Nachbar Uranus.

6. **Rotation und Revolution.** Wahrscheinlich dreht sich Neptun um seine Achse, so daß auf ihm ein Wechsel zwischen Tag und Nacht stattfindet; allein wegen der großen Ferne des Planeten hat sich bis jetzt hinsichtlich der Rotation nichts bestimmen lassen.

Seine 3760 mill. Mln. lange Bahn durchläuft Neptun siderisch in 164 J. 216 Tg. 8 Stdn. 52 Min.; er legt darum in 1 Sek. durchschnittlich nur 17300 Fuß oder 0,76 Mln. zurück. Es bewegt sich also der Planet 5,4mal so langsam als die Erde, und man sieht ihn, der gewöhnlich als ein Stern 7. bis 8. Größe erscheint, nur sehr langsam unter den Fixsternen fortschreiten.

Wie die Verhältnisse hinsichtlich der Jahreszeiten sich gestalten, kann nicht angegeben werden. Falls aber der Mond Neptuns sich in der Ebene des Aequators bewegt, dürfte, nach irdischen Verhältnissen zu reden, die Schiefe der Ekliptik Neptuns 30 und einige Grade betragen, indem die Bahn des Mondes 34° 7′ gegen die Ekliptik geneigt ist. Wäre die ferne Sonne, die dem Neptun nur 0,001 des Lichtes spendet, welches die Erde empfängt, noch im stande, große Temperatur-Unterschiede hervorzurufen, so müßte der Wechsel der Jahreszeiten bei der angedeuteten Lage der Achse und der Länge jeder einzelnen Jahreszeit (über 41 Jahr) sehr entschieden ausgeprägt sein.

II. Der Mond Neptuns.

Kurz nach der Entdeckung Neptuns fand *Lassell* in seinem großen 20füßigen Reflektor von 24 Zoll Oeffnung einen Trabanten des Planeten, der von andern

Fig. 103.

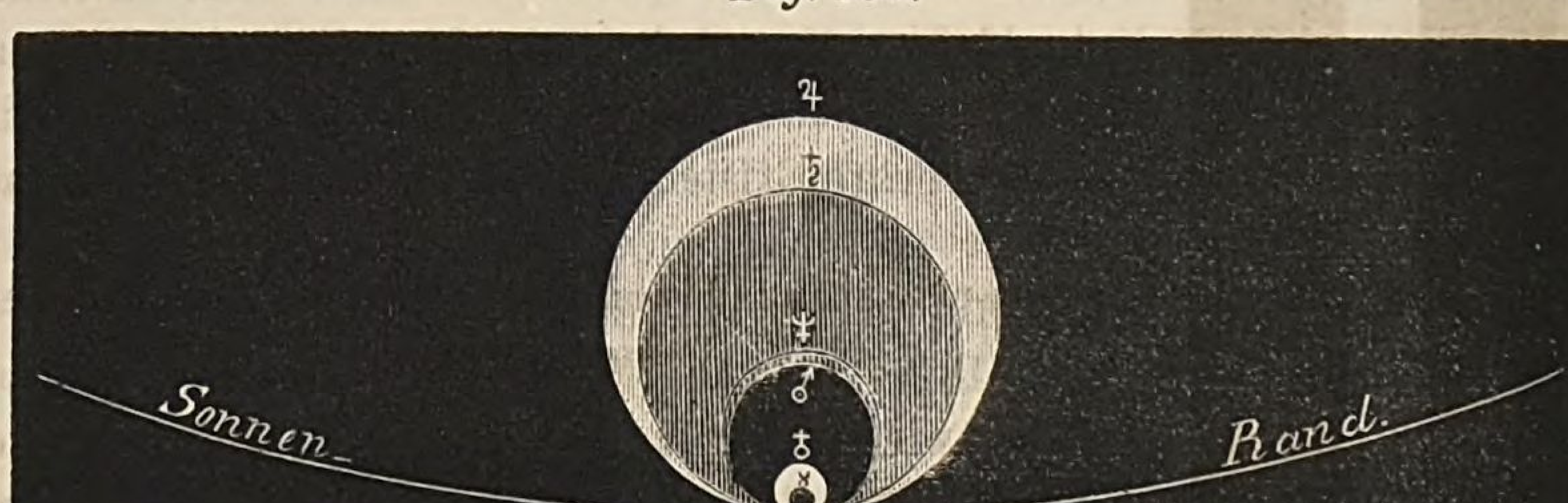


Fig. 104.



Fig. 102.



Fig. 105.



berühmten Astronomen ebenfalls gesehen worden ist, so daß seine Existenz als gewiß bezeichnet werden kann. Er befindet sich etwa 12,6 Halbmesser Neptuns von dem Mittelpunkte dieses und vollendet seine Bahn bereits in 5 Tg. 21 Stdn. Die Existenz eines zweiten Mondes, der gesehen sein sollte, hat sich nicht bestätigt, ebenso wenig die eines vermutheten Ringes.

Ob mit Neptun die Reihe der die Sonne umkreisenden Planeten geschlossen ist, läßt sich nicht sicher entscheiden. Jedenfalls ist es nicht unmöglich, daß auf ähnlichem Wege, wie Neptun gefunden worden, auch noch ferner stehende Planeten entdeckt werden können. Ja der Umstand, daß Neptun der Sonne wider Erwarten nahe steht (man denke an die *Bode*sche Reihe), erlaubt die Meinung, daß dieser Planet vielleicht nur ein sehr großer einer Gruppe von Planeten sei, die, wie die Asteroiden, an der Grenze des Sonnensystems in verschiedenen Abständen die Sonne umkreisen, und diese Meinung erhält dadurch einen größeren Grad von Wahrscheinlichkeit, daß *Wartmann* in Genf vom 6. September bis zum 12. November 1831, also 86 Tage lang, einen Stern beobachtet hat, der in 56 Tagen 1° zurücklegte. Erst 1836 erstattete er der Pariser Akademie Bericht von seiner Entdeckung; doch konnte nun der Stern nicht wieder aufgefunden werden. Neptun aber kann es nicht gewesen sein, da derselbe, wie Nachrechnungen ergeben haben, 1831 an einem ganz anderen Orte gestanden haben muß, als an welchem der genannte Beobachter jenen Stern gesehen hatte. Somit gehören Entdeckungen transneptunischer Planeten nicht zu den unwahrscheinlichen; doch dürften wegen der mit der großen Entfernung verbundenen Schwäche des Lichtes nur größere Himmelskörper ihre Existenz den Erdenbewohnern verrathen.

Veranschaulichung der wichtigsten Elemente des Sonnensystems.

Ehe wir uns zur specielleren Betrachtung der zweiten Gruppe des Sonnensystems, zu den Kometen, wenden, wollen wir, da Zahlenangaben dies nicht vermögen, durch graphische Darstellungen die wichtigsten der bei den einzelnen Planeten besprochenen Elemente uns zu deutlicherer Anschauung zu bringen versuchen.

In *Fig. 102* ist die Winkelbewegung der einzelnen Planeten während eines ganzen Merkurumlaufes veranschaulicht worden, und zeigen die beigesetzten Ziffern die entsprechende Anzahl der zurückgelegten Grade an. Die *Fig. 103* (S. 396) soll die Größe der wichtigsten Planeten im Verhältnis zur Sonne veranschaulichen; diese letztere hat aber wegen ihrer Größe nur theilweise dargestellt werden können. Die Asteroiden können bei dem angenommenen Maßstabe nur als Punkte gezeichnet werden. — Das System Jupiters und seiner vier Monde zeigt *Fig. 104*, das des Saturn *Fig. 105*; beide sind in demselben Größenverhältnis dargestellt worden, und außerdem ist zu bemerken, daß die Monde im Fernrohr in den gezeichneten Stellungen nicht beobachtet werden, sondern daß dieselben alle auf eine Seite gestellt sind, um ihre Entfernungen vom Hauptplaneten zu veranschaulichen.

Drittes Kapitel.

Von den Kometen.

A. Im allgemeinen.

1. **Große Anzahl der Kometen.** Die Kometen müssen wegen der vielen weiter unten näher anzugebenden Eigenthümlichkeiten als eine besondere Gruppe des Sonnensystems betrachtet werden. Die auffallende Gestalt, in der namentlich die meisten der mit bloßen Augen sichtbaren Kometen erscheinen, hat seit Alters her die Aufmerksamkeit der Menschen auf sie gezogen und die Phantasie lebhaft beschäftigt. Aber verhältnismäßig selten wird uns der stets interessante Anblick eines großen, geschweiften Kometen zutheil. Reich an solchen Kometen war das 16. Jahrhundert, in welchem nicht weniger als 23 derselben sichtbar geworden sind. Das 17. Jahrhundert brachte zwölf, das 18. nur acht, das 19. bereits zwölf solcher Erscheinungen und darunter einige besonders auffallende. Andererseits aber sind auch mehrere Decennien verflossen, ohne daß ein großer Komet erschienen wäre. Zahlreicher als die mit unbewaffneten Augen sichtbaren ist die Zahl der telescopischen Kometen, und bei dem großen Interesse, das diese Himmelskörper namentlich in der Jetztzeit bei den Astronomen erregen, werden gegenwärtig jährlich durchschnittlich zwei bis drei derselben aufgefunden; ja, in den Jahren 1846 und 1858 sind sogar je acht Kometen beobachtet worden. Man darf annehmen, daß, so weit bestimmte Nachrichten reichen, im ganzen 600 bis 700 Kometen gesehen worden sind, von denen etwa bei 240 eine Bahnberechnung, wenn auch oft nur eine ungefähre, hat vorgenommen werden können. Man würde aber sehr irren, wollte man meinen, daß mit dieser Zahl die Schar derselben bereits erschöpft sei; sie ist in jedem Falle weit beträchtlicher. Die Kometen werden uns näm-

lich nur zur Zeit ihrer Sonnennähe im Perihel sichtbar, und auch dies nur dann, wenn sie zu dieser Zeit auch der Erde nahe genug sind. Von den beobachteten Kometen haben etwa 40 ihr Perihel innerhalb der Merkursbahn, aber gegen 70 andere innerhalb der Venusbahn erreicht. Wie viel mögen ihre Sonnennähe innerhalb der viel größeren Jupiters- oder gar der Neptunsbahn haben, die uns wegen ihrer großen Ferne völlig unsichtbar bleiben! Wie viel andere Kometen mögen bei Tage am Himmel stehen, deren matteres Licht von der Sonne überstrahlt wird, und wie vieler anderer Anblick mag uns der bewölkte Himmel entziehen! Noch andere mögen am südlichen Himmel aufglimmen, über deren Erscheinen uns keine Kunde zugeht, weil es auf der südlichen Erdhälfte an gebildeten Beobachtern fehlt. Berücksichtigt man alle diese Eventualitäten, so führt die Wahrscheinlichkeits-Rechnung auf eine unglaublich große Menge von Kometen. Wahrscheinlich ist ihre Zahl auf mehrere Hunderttausende zu schätzen, so daß sie, wenn man die Sonne als die Königin, die Planeten als die Vasallen des Sonnenstaates ansieht, als das eigentliche Volk desselben betrachtet werden können.

2. **Die wichtigsten Merkmale der Kometen,** die sie namentlich von den Planeten unterscheiden, sind folgende:

a) Die Bahnen der großen Mehrzahl sind sehr excentrisch, so daß zwischen der kleinsten und der größten Entfernung von der Sonne oft ein außerordentlicher Unterschied stattfindet. So hatte z. B. der merkwürdige Komet von 1680 im Perihel eine Entfernung von der Sonne von nur 128000 geogr. Meilen, und von der Oberfläche der Sonne stand er sogar nur c. 32000 Mln. ab. Im Aphelio hingegen befand er sich in einem Sonnenabstande von nicht weniger als 17700 mill. Mln. Die Bahn dieses großen Kometen ist unter den beobachteten, mit Sicherheit als elliptisch erkannten Kometen die am meisten excentrische. Doch zeigen einige Kometen, die mit kurzen Umlaufszeiten, auch verhältnismäßig kleine Excentricitäten, die nur wenig von denen mancher Asteroiden verschieden sind, so daß diese als Weltkörper angesehen werden können, die in Beziehung auf die Bahnen den Gegensatz zwischen Planeten und Kometen vermitteln. Es ist aber noch nicht ausgemacht, ob es nicht auch Kometen giebt, die in nicht geschlossenen, parabolischen und hyperbolischen Bahnen ihren Weg durch den Weltenraum nehmen und von Sonne zu Sonne wandeln. Wenn ein neuer Komet erscheint, so pflegt man zuerst eine parabolische Bahn anzunehmen, bis die Beobachtungen eine Abweichung davon darthun und zur Berechnung einer geschlossenen elliptischen Bahn nöthigen. Unter den genauer bekannten Kometen giebt es nur elf, deren Bahn ganz von der Neptunsbahn umschlossen ist.

b) Die Geschwindigkeit, mit der die Kometen ihre Bahnen durchlaufen, ist, wie dies aus der großen Excentricität der Bahnen folgt, eine sehr verschiedene in verschiedenen Theilen derselben. So legte der große Komet von 1680 im Perihel in einer Sekunde einen Weg von $73^1/_2$ Mln. zurück, oder er bewegte sich mit mehr denn 18facher Geschwindigkeit der Erde in ihrer

Bahn, während er im Aphelio den geringen Raum von nur 12 1/5 Par. Fuß zurücklegte.

c) Die Bahnen der Kometen durchschneiden die Planetenbahnen unter den verschiedensten Winkeln und in den mannigfaltigsten Richtungen. Während die Planetenbahnen, mit Ausnahme der einiger Asteroiden, mit der Ekliptik nur geringe Winkel machen, weichen die der Kometen oft sehr beträchtlich von derselben ab, und ihre Perihelien gruppiren sich nicht, wie bei den Planeten, kreisförmig, sondern mehr oder weniger kugelförmig um die Sonne. Während ferner alle Planeten von W. nach O. fortschreiten, durchirren die Kometen den Raum nach den verschiedensten Richtungen; sie sind sowohl recht- als rückläufig. Von 242 Kometen, die bis zum Jahre 1868 mehr oder weniger scharf berechnet worden, waren 123 recht-, 119 rückläufig. Rückläufigkeit hat namentlich die Mehrzahl der großen, geschweiften Kometen gezeigt.

d) Die Kometen sind nur außerordentlich kurze Zeit von der Erde aus sichtbar; denn sie werden, wie bereits erwähnt, wegen ihrer geringen Lichtstärke erst dann gesehen, wenn sie sich ihrem Perihel nähern, und verschwinden mit zunehmender Entfernung von diesem Punkte ziemlich schnell wieder unseren Blicken, so daß sie den größten Theil ihrer einsamen Bahn von uns ungesehen durchwandern. Sie erscheinen aus dem angeführten Grunde gewöhnlich plötzlich am Himmel, und dies hat in älteren Zeiten die Meinung begünstigt, daß sie sich plötzlich in der Atmosphäre bildeten, und zwar aus den Dünsten der Erde. Es ist indessen jetzt gewiß, daß sie nicht tellurischen, sondern cosmischen Ursprungs sind.

e) Die Kometen haben, wie die geringen Störungen beweisen, die sie auf die Planeten ausüben, denen sie etwa nahe kommen, eine sehr geringe Masse; aber diese nimmt ein sehr bedeutendes Volumen ein. Eine Folge davon ist die außerordentlich geringe Dichtigkeit der Kometenmasse. So zeigte der schöne Komet von 1811 einen Durchmesser von nicht weniger als 140000 Mln., d. i. c. 3/4 des Sonnendurchmessers, und der Schweif des Kometen von 1680 war gegen 14 mill. Mln. lang.

f) Die Kometen ändern ihre Gestalt, einmal, indem namentlich mit der Annäherung an das Perihel bei Abnahme des Kernes der Schweif länger und länger wird und dann wieder abnimmt oder gänzlich verschwindet; sodann ist auch bei ihrem Wiedererscheinen nach längerer oder kürzerer Abwesenheit die Gestalt oft so merklich von der früheren verschieden, daß es schwer hält, einen Kometen als denselben wiederzuerkennen, und daß zuweilen nur die Gleichheit der Bahnelemente die Identität beweiset.

g) Die in Rede stehenden Himmelskörper zeichnen sich vor allen andern Sternen durch ihre auffällige, schon beschriebene Form aus. Besonders sind zwei Hauptbestandtheile zu unterscheiden, nämlich: 1) die Nebelhülle, in welcher wieder der Kern als ein besonderer Theil hervortritt, und 2) der Schweif.

3. **Beschreibung der einzelnen Theile der Kometen.** Die Nebel-

hülle oder Coma ist als der eigentliche Hauptbestandtheil des Kometen anzusehen, da es keinen ohne dieselbe giebt, wohl aber die andern genannten Theile fehlen können. Mehrere Kometen haben die größte Aehnlichkeit mit kugelförmig abgerundeten Nebelflecken und zeigen ein mattes Licht wie diese; auch die Spektra einiger Kometen haben sich denen mancher Nebelflecke ähnlich gezeigt. In den meisten Fällen aber ist gegen die Mitte der Dunstkugel eine Zunahme des Lichtes zu bemerken, die sich als der heller leuchtende Kern des Kometen oft sehr glänzend von der übrigen Nebelmasse abhebt. Eine solche Lichtzunahme nach der Mitte des Kometen erscheint natürlich, da eine Kugel nach der Mitte zu an Dicke zunimmt und durch die größere Zahl der Licht spendenden Theile, sei es nun, daß sie nur reflektirtes Sonnenlicht oder eigenes Licht geben, eine größere Helligkeit hervorgerufen werden muß. Uebrigens erscheint der Kern des Kometen in ungleich starken Fernröhren und auch bei verschiedenen Kometen außerordentlich verschieden; denn während in einigen Fällen der Kern als eine nicht scharf begrenzte, sondern nach der Nebelhülle zu verwaschene und in diese Hülle übergehende Masse erschien, zeigte sich derselbe bei andern Kometen ziemlich scharf und kugelförmig begrenzt und von einer, aber auch wohl von mehreren, zuweilen durch dunkle Zwischenräume getrennten Nebelhüllen umgeben. Diese Nebelhüllen erscheinen ebenfalls bei manchen Kometen mehr oder weniger verwaschen, bei anderen hingegen ziemlich scharf begrenzt, so daß man die Gewißheit eines Zusammenhanges der materiellen Theile durch die Anziehungskraft erhält. Es sind aber auch Kometen mit mehreren Kernen beobachtet worden, wie z. B. der erste Komet von 1860 eine solche Duplicität gezeigt hat. Bei geschweiften Kometen nennt man Kern und Nebelhülle zusammen gewöhnlich den Kopf des Kometen.

Außer der Nebelhülle und dem Kern zeigen viele Kometen als dritten Bestandtheil den Schweif. Gewöhnlich stellt sich dieser als ein besenförmig sich ausbreitender, an Glanz gegen den Kern des Kometen zurückstehender Lichtschein dar, und die Erscheinung ist im allgemeinen so, als ob er aus einem cylindrischen oder kegelförmigen Raume bestände, in welchem sich Licht entwickelnde Theilchen befinden. An den Seitenrändern ist die Erleuchtung bedeutender als in der Mitte, die oft als ein dunkler Raum erscheint, der den Schweif in zwei gesonderte Theile zerlegt. Die Form dieses Schweifes ist sehr verschieden. Während bei einigen Kometen die Ränder fast gerade fortgehen, sind sie bei anderen gekrümmt, bald nach derselben Seite, bald nach entgegengesetzten Richtungen, und in einigen Fällen sind sogar zwei, ja drei Schweife beobachtet worden. Sie bilden sich gewöhnlich erst in der Nähe der Sonne, und während sich nach *Valz* der Kern des Kometen mit der Annäherung an die Sonne verkleinert, nimmt der Schweif an Größe und Länge zu.

Bei der Annäherung an die Sonne müssen in den Kometen große Veränderungen vorgehen. Es ist nämlich bei vielen eine heftige Ausstrahlung von dem Kopfe aus beobachtet worden, und diese Ausströmungen bilden, zurück-

gebeugt, den von der Nebelhülle stets getrennten Schweif des Kometen. Ein solches Zurückbleiben der Kometenmasse hinter dem Kern wird vielleicht durch den Widerstand des den Weltenraum erfüllenden Aethers bewirkt, der nach der Sonne zu an Dichtigkeit zunehmen muß, und dessen hemmende Wirkung namentlich diejenigen Kometen erfahren dürften, die der Sonne sehr nahe kommen oder ein sehr großes Volumen einnehmen. Doch ist es wahrscheinlicher, daß die auflockernde Wirkung der Sonnenwärme zur Zeit des Perihels gewisse Theile der Masse aus dem Anziehungsbereich des geringmassigen Kometen bringt und so dieselben hinter dem Kern zurückbleiben läßt. Durch eine solche Auflockerung der Kometenmasse und die später darauf folgende Verdichtung in dem kalten Weltenraum, fern von der Sonne, müssen jedenfalls große physische Veränderungen in den Kometen vorgehen. Nach den neuesten Ansichten liefern sich auflösende Kometen das Material zu den Sternschnuppen und vielleicht auch zu dem noch zu besprechenden, das Zodiakallicht hervorrufenden Nebelringe.

Daß die Kometenschweife von außerordentlicher Länge sind, ist schon erwähnt worden, und vielleicht ist die Erde bereits, z. B. am 26. Juni 1819, durch einen Kometenschweif hindurchgegangen, da der Schweif des großen Kometen von 1819 an dem genannten Tage gerade gegen die Erde gerichtet war. Auch am 2. Septbr. 1853 scheint die Erde den Schweif des 3. Kometen dieses Jahres passirt zu haben, und *Rümker* macht auf den nordlichtähnlichen Schein aufmerksam, der an diesem Tage in vielen Gegenden Europas gesehen worden ist. Ebenso dürfte die Erde durch den Schweif des großen Kometen von 1861 gegangen sein. Hat sie sich hierbei fremden Stoff angeeignet? Daß eine solche Aneignung geschieht, ist mehr als wahrscheinlich. Uebrigens muß man die wirkliche und die scheinbare Länge des Schweifes unterscheiden. Auf die letztere sind vornehmlich die Entfernung des Kometen von der Erde und außerdem der Winkel von Einfluß, unter welchem die Gesichtslinien die Achse desselben treffen.

Was die Richtung der Schweife betrifft, so ist sie bei den meisten der Sonne abgekehrt und durch eine von der Sonne durch den Kopf des Kometen gezogene Linie bezeichnet; doch zeigten sich manche Kometenschweife nach der Seite hin gerichtet, von welcher der Komet herkam; auch ist wohl schon ein nach der Sonne gerichteter Schweif beobachtet worden. Andere Kometen haben auch einen mehrfachen Schweif gezeigt.

4. **Beschaffenheit der Kometenmasse.** Wie aber ist die Masse beschaffen, aus welcher die Kometen und ihre Schweife bestehen? Die bestimmte Beantwortung dieser Frage ist bis jetzt noch unmöglich. Man ist fast nur im stande, negative Eigenschaften der Kometenmasse anzugeben. Der Umstand, daß Sterne, die von einem Kometen oder dem Schweife desselben bedeckt wurden, keine meßbare Veränderung ihrer Position verriethen, berechtigt zu dem Schlusse, daß jene Masse weder tropfbar-flüssig noch luftförmig sein könne, da sonst eine Brechung des Lichtes und somit eine Verschiebung des Stern-

ortes hätte stattfinden müssen. Und doch ist es merkwürdig, daß durch den Schweif, und selbst nahe dem Kern durch den Kometen gegangenes Sternlicht fast ungeschwächt erscheint, als ob die Kometenmasse kein Licht absorbirend, also vollkommen durchsichtig wäre. *Aragos* optische Versuche in dieser Beziehung haben indessen erwiesen, daß vollkommene Durchsichtigkeit der Kometenmasse nicht zukomme; zugleich hat er gezeigt, daß wenigstens ein Theil des von den Kometen gespendeten Lichtes reflektirtes Licht ist, indem es polarisirt wird. Ob aber die in Rede stehenden Himmelskörper nur Sonnenlicht reflektirten, oder zugleich auch eine eigene Lichtentwicklung hätten, blieb noch zweifelhaft. Eine wiederholte Spektralanalyse des Kometenlichtes wird hierüber hoffentlich bald endgiltig entscheiden. Einige Resultate liegen indessen jetzt schon vor. *Donati* in Mailand, der Entdecker des schönen großen Kometen von 1858, hat das Spektrum eines im Jahre 1864 erschienenen Kometen untersucht und helle Linien in demselben gefunden, was auf einen gasförmigen Zustand der Kometenmasse hinwiese. Im Jahre 1866 wurde ein kleiner telescopischer Komet von *Huggins* spektrisch untersucht, wobei sich als merkwürdiges Resultat ergab, daß das Spektrum der Nebelhülle von dem des Kernes verschieden war. Die erstere ergab ein mattes continuirliches Spektrum, das nur von reflektirtem Sonnenlichte herrühren kann, der letztere verursachte ein helleres Spektrum mit einer hellen Linie, ähnlich demjenigen, welches solche Nebelflecke zeigen, die auch durch die stärksten Fernröhre nicht in einzelne Sterne aufgelöst werden können und wahrscheinlich gasförmig sind (s. die Nebelflecke). Die helle Linie spricht für Selbstleuchten und zugleich für einen gasförmigen Zustand des Kernes. Im Jahre 1868 wurde der zweite Komet dieses Jahres von *Secchi* spektrisch untersucht; er fand drei helle Linien im Grün, Gelb und Blau. *Huggins*, der denselben Kometen untersuchte, war geneigt, Kohlenstoff in dem Kometen anzunehmen, da sein Spektrum demjenigen dieses Stoffes sehr ähnlich war. Außerdem ist auch an diesem Kometen wieder bestätigt worden, daß das Licht der Coma polarisirt, das des Kernes dagegen es nicht war. Uebrigens scheinen verschiedene Kometen aus verschiedenen Stoffen zu bestehen, da sie verschiedene Spektra geben. Diese mitgetheilten Resultate, namentlich die vermuthete Gasförmigkeit des Kernes, scheinen der oben angegebenen Eigenschaft der Kometenmasse zu widersprechen; allein es ist auch möglich, daß die Dichtigkeit des gasförmigen Kernes so gering ist, daß die den Lichtstrahl ablenkende Kraft für die Beobachtung unmerklich wird. Durch die wenigen, bis jetzt vorliegenden Untersuchungen ist aber die Frage nach der wahrscheinlichen Beschaffenheit der Kometenmasse noch nicht endgiltig entschieden; aber es ist doch ein neuer Weg gefunden, auf dem die Sache der Entscheidung näher geführt werden kann. Bis jetzt ist man geneigt anzunehmen, daß die Kometen aus fein zertheilten Massen bestehen, die das Stern- und Sonnenlicht zwischen sich hindurch lassen. Gewiß ist, daß die Kometen der Attraktion anderer Weltkörper unterworfen sind, wie der Umstand beweist, daß sie den Attraktionsgesetzen gehorchen und von den Planeten

Störungen erleiden, und daß ihre körperlichen Theile sich auch gegenseitig anziehen, wofür die Kugelform spricht, welche namentlich die schweiflosen Kometen zeigen. Fast scheint es aber, als daß sie nicht der Verdichtung zu planetarischen Massen fähig wären. Räthselhaft ist noch die bei großen Kometen wahrgenommene eigenthümliche Ausstrahlung der Kometenkerne in der Sonnennähe, worüber später Genaueres gesagt werden wird.

B. Betrachtung der wichtigsten Kometen.

Es kann nach dem Zwecke dieses Buches, das nur die wichtigsten Resultate der Beobachtung und Forschung geben will, nicht unsere Absicht sein, die große Zahl aller bis jetzt beobachteten, oder selbst nur der berechneten Kometen der Reihe nach zu besprechen; wir beschränken uns vielmehr auf diejenigen, welche als bleibende Glieder des Sonnensystems betrachtet werden können, oder sonst ein besonderes Interesse zu erwecken im stande sind. In der vorigen Auflage dieses Buches haben wir die betrachteten Kometen nach *A. v. Humboldt* als innere und äußere gruppirt, je nachdem ihre Bahnen noch innerhalb der jetzt bekannten Grenzen des Planetensystems, also innerhalb der Neptunsbahn liegen, oder aber über dieselbe hinausgehen. Diese Unterscheidung hat eine theilweise Berechtigung, insofern allerdings mehrere übereinstimmende Eigenschaften bei den betreffenden Kometen vorhanden sind; allein sie ist auch von sehr fraglichem Werthe, da es nicht ausgemacht ist, ob die Neptunsbahn wirklich die äußerste Grenze des Planetensystems bezeichnet. Eine passende Eintheilung der Kometen wäre vielleicht die in recht- und rückläufige, da manche Gründe dafür zu sprechen scheinen, daß die ersteren wahrscheinlich innerhalb des Planetensystems entstanden sind und für immer darin verbleiben, während die letzteren vielleicht als Fremdlinge betrachtet werden müssen, die aus fernen Himmelsräumen eingewandert sind und entweder bleibend durch die Sonne an das System derselben gefesselt worden, oder nur als Gäste in dasselbe eintreten, um es später wieder zu verlassen und zu andern Fixsternsystemen hinüberzuschweifen. Hiernach würde auch die Unterscheidung in periodisch wiederkehrende oder elliptische, und in nichtperiodische, in parabolischen oder hyperbolischen Bahnen einhergehende Kometen gerechtfertigt sein. Doch wäre hierbei wieder der Uebelstand vorhanden, daß die letzteren Bahnen zwar bei mehreren Kometen vermuthet werden und selbst wahrscheinlich sind, die Sache sich aber nicht mit voller Gewißheit entscheiden läßt.

Bei dieser Lage der Sache scheint es am angemessensten, hauptsächlich die Umlaufszeiten für die Gruppirung maßgebend sein zu lassen, und hiernach können vornehmlich drei Gruppen von Kometen unterschieden werden, nämlich 1) Kometen, deren Umlaufszeiten, 3,3 bis 7,4 Jahre, wenig von denen der Asteroiden verschieden sind; 2) Kometen mit größeren Umlaufszeiten, die in ihrer mittleren Entfernung innerhalb der Neptunsbahn bleiben; 3) Kometen,

die erst in Jahrhunderten und selbst Jahrtausenden ihre lange Bahnen vollenden und selbst in ihren mittleren Entfernungen die jetzigen Grenzen des Planetensystems überschreiten.

I. Periodische Kometen mit kurzen Umlaufszeiten.

Zu dieser Gruppe gehören vielleicht 14 Kometen, von denen jedoch 3—4 nicht ganz sicher sind. Sie stellen sich dadurch als eine besondere Gruppe dar, daß ihre Bahnelemente sich denen der Planetoiden nähern, indem einmal ihre Umlaufszeit nur wenig von der der letzteren Körper abweicht, und andererseits ihre Bahnen nicht größere Neigungen gegen die Ekliptik zeigen als die Asteroiden. Außerdem sind sie alle rechtläufig. Sechs von diesen Kometen sind bereits in mehr als einer Erscheinung beobachtet worden.

1. **Der Encke'sche Komet.** Er hat seinen Namen nach dem Direktor der Berliner Sternwarte, Prof. *Encke*, der aber nicht der Entdecker desselben ist, wohl aber seine Bahn sehr genau berechnet hat. Er wies im Jahre 1819 die Identität des Kometen mit den in den Jahren 1786, 1795 und 1805 erschienenen Kometen nach, und ist der Komet bereits bei 16maliger Wiederkehr beobachtet worden. Mit bloßen Augen ist er sehr schwer zu sehen. Er stellt sich gewöhnlich als eine Nebelkugel mit undeutlicher Verdichtung in der Mitte und sehr veränderlichem Durchmesser dar. Er zeigte zuweilen in seiner Sonnennähe einen sehr kurzen, aber nicht der Sonne abgewandten, sondern seitlich gerichteten Schweif.

Der mittlere Abstand von der Sonne betrug bei seiner vorletzten Wiederkehr 1862 2,217 Sonnenweiten; er näherte sich aber im Perihel derselben auf 0,34, und entfernte sich im Aphel bis auf 4,09 Sonnenweiten, so daß seine Excentricität = 0,847 der halben großen Achse ist. Gegen die Ekliptik ist seine Bahn 13° 5′ geneigt. Seine Umlaufszeit beträgt 3 Jahr 110 Tg. Die eben angegebenen Größen sind infolge der Störungen, welche der Komet durch die Planeten erfährt, nicht unveränderlich, sondern zeigen bei jeder Wiederkehr kleine Schwankungen, wie bei jedem periodischen Kometen. In einem Punkte aber besteht zwischen der Rechnung und der Beobachtung eine merkwürdige Abweichung. Nach jener müßte sich nämlich die Umlaufszeit des Kometen durch die Störungen der Planeten bei jeder Wiederkehr um etwas verzögern; diese Verzögerung tritt aber nicht ein; vielmehr kehrt der Komet ungefähr 6 Stunden zu früh zu seinem Perihel zurück. *Encke* erklärt diese merkwürdige Erscheinung durch den Widerstand, den der Komet durch den den Weltenraum füllenden Aether finde. Daß nämlich der Weltenraum absolut leer sein sollte, ist nicht wahrscheinlich, da er jedenfalls mit dem Lichtäther erfüllt sein muß, durch dessen Schwingungen die fernen Welten uns von ihrer Existenz Kunde geben. Ob aber dieser Lichtäther von dem vermutheten, die fernen Himmelsräume füllenden allgemeinen Aether noch verschieden, oder mit ihm identisch sei, ist noch nicht auszumachen.

Da aber der Aether als ein körperlicher Stoff irgend eine, wenn auch noch so geringe Dichtigkeit haben muß, so wird er, der Attraktionskraft unterworfen, sich um die Planeten, namentlich aber um die Sonne herum verdichten. Den mit großer Dichtigkeit begabten inneren Planeten vermag dieser verdichtete Aether keinen merklichen Widerstand entgegenzusetzen, wohl aber den sehr locker gewebten, sehr geringe Masse habenden Kometen, und zwar insonderheit dem *Encke*schen Kometen, der wegen seiner geringen Entfernung von der Sonne (sein Perihel liegt innerhalb der Merkursbahn, sein Aphel jenseit der Pallasbahn) den dichtesten Theil des Aethers durchlaufen muß. Vielleicht kommt auch von diesem Widerstande des Aethers die große beobachtete Zusammenziehung des Kometen in der Sonnennähe her. Nun könnte es aber scheinen, als müsse wegen jenes Widerstandes eher eine Verzögerung, als eine Beschleunigung in dem Laufe des Kometen eintreten. Dies ist indessen nicht der Fall; denn durch jenen Widerstand vermindert sich mit der Geschwindigkeit des Kometen seine Schwungkraft, und dadurch erhält die Anziehung der Sonne einen größeren Einfluß auf ihn, der ihn zwingt, in einer immer kürzer werdenden Bahn um die Sonne zu kreisen. Wenn hierin durch die Einwirkung der Planeten nicht ein Gegengewicht gebildet wird, so müßte freilich der Komet zuletzt in Spiralwegen auf die Sonne zuwandern und sich endlich in diese stürzen. Daß dies aber einmal geschehen müsse, darf nicht behauptet werden, da die Natur des widerstehenden Mediums noch zu wenig erforscht ist.

Ob übrigens bei allen Kometen der vermuthete Widerstand des Aethers sich durch eine Verkürzung der Umlaufszeit geltend macht, müssen fortgesetzte Beobachtungen, besonders der Kometen von kurzer Umlaufszeit, erst noch ergeben.

2. **De Vico's Komet.** Dieser lichtschwache, nur mit bewaffneten Augen sichtbare Komet wurde im Jahre 1844 von *de Vico* entdeckt und von *Brünnow* berechnet. Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 3,100, die kleinste 1,186, die größte 5,012 Sonnenweiten. Die Excentricität seiner Bahn ist demnach = 0,617 der halben großen Achse, die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik aber = 2° 54′ 46″. Seine Umlaufszeit beträgt 1996 Tg. = 5,46 Jahr. Wegen ungünstiger Sichtbarkeitsverhältnisse ist er 1849, 1855, 1860 und 1866 nicht aufgefunden worden. Er wird von *Leverrier* und *Brünnow* mit dem Kometen von 1678 für identisch gehalten.

3. **Brorsens Komet.** Er wurde 1846 den 25. Februar in Kiel entdeckt, und befand sich bei seiner Wiederkehr am 29. März 1857 nach *d'Arrest* in einem mittleren Abstande von 3,139 Sonnenweiten von der Sonne, nähert sich dieser aber im Perihel bis auf 0,621 Sonnenweiten. Die größte Entfernung beträgt 6,654. Die Excentricität der Bahn ist = 0,8023, und die Neigung derselben zur Ekliptik = 29° 48′ 59″. Er vollendet seine Bahn in 5,562 Jahren und ist im Frühlinge 1868 wieder erschienen.

4. **d'Arrests Komet.** Die Entdeckung dieses Kometen geschah am 8. Juli 1851 durch *d'Arrest*, der ihn auch berechnet hat. Er hat eine mitt-

lere Entfernung von 3,444, eine kleinste von 1,173 und eine größte von 5,715 Sonnenweiten. Die Excentricität der Bahn ist = 0,659 und die Neigung derselben = 13° 55′ 8″. Die Umlaufszeit beträgt 6,39 Jahr. Er ist 1857 am Cap der guten Hoffnung gesehen, also wieder erschienen.

5. **Der Biela'sche Komet.** Dieser Komet ist bereits 1772 und 1806 gesehen worden, ward aber erst 1826 von *v. Biela*, einem Liebhaber der Astronomie, als mit jenen identisch erkannt. Er ist seit jener Zeit mehrmals wiedergesehen und in seiner Bahn sehr genau berechnet worden. Er hat in der Form viel Aehnlichkeit mit dem *Encke*schen Kometen und stand 1846 den 10. Februar in einem Mittel-Abstande von 3,520 Sonnenweiten von der Sonne. Im Perihel näherte er sich der Sonne bis auf 0,856, im Aphel entfernte er sich von ihr bis auf 6,184 Sonnenweiten. Seine Excentricität beträgt 0,756, und die Neigung der Bahn ist = 12° 34′ 53″. Den Umlauf vollendet er in 6,60 Jahren.

Unter allen Kometen mit kurzer Umlaufszeit hat dieser am meisten von sich reden gemacht, und zwar besonders dadurch, daß er ein Phänomen dargeboten hat, das, so weit bekannt, noch nicht beobachtet worden ist. Es hat sich nämlich der Komet im Jahre 1846 fast unter den Augen der Beobachter in zwei selbständige Kometen von ähnlicher Gestalt, aber ungleichen Dimensionen, beide mit Kopf und Schweif, getheilt. *Alexander v. Humboldt* beschreibt das Phänomen im 3ten Bande seines Cosmos S. 568 und 569 folgendermaßen: »Am 19. December hatte *Hind* in dem ungetheilten Kometen schon eine Art Protuberanz gegen Norden bemerkt; aber am 21. war (nach *Enckes* Beobachtungen in Berlin) noch nichts von einer Trennung zu sehen. Die schon erfolgte Trennung wurde in Nordamerika zuerst am 29. December 1845, in Europa erst um die Mitte und das Ende Januars 1846 erkannt. Der neue, kleinere Komet ging nördlich voran. Der Abstand beider war anfangs 3, später (20. Februar) nach *Otto Struves* interessanter Zeichnung 6 Minuten. Die Lichtstärke wechselte, so daß der allmählich wachsende Neben-Komet eine Zeit lang den Haupt-Kometen an Lichtstärke übertraf. Die Nebelhüllen, welche jeden der Kerne umgaben, hatten keine bestimmten Umrisse; die des größeren Kometen zeigte sogar gegen S.S.W. eine lichtschwache Anschwellung; aber der Himmelsraum zwischen den beiden Kometen wurde in Pulkowa ganz nebelfrei gesehen. Einige Tage später hat Lieutenant *Maury* in Washington in einem neunzölligen Münchener Refraktor Strahlen bemerkt, welche der größere, ältere Komet dem kleineren, neuen zusandte, so daß wie eine brückenartige Verbindung eine Zeit lang entstand. Am 24. März war der kleinere Komet wegen zunehmender Lichtschwäche kaum noch zu erkennen. Man sah nur noch den größeren bis zum 16. bis 20. April, wo denn auch dieser verschwand.«

Seit dieser merkwürdigen Theilung des Kometen ist derselbe 1852 wieder erschienen, und er hat, wie 1846, den doppelten Kern und die schon damals wahrgenommenen Helligkeitsveränderungen gezeigt, indem auch jetzt der Neben-Komet sich als der hellste darstellte. Der erste Kern wurde zuerst von *Secchi*

in Rom am 26. August, der zweite am 15. September aufgefunden, und letzterer in ovaler Gestalt gesehen. Die Entfernung beider Kerne, die 1846 nur einige Minuten betragen hatte, war jetzt trotz bedeutend größeren Abstandes des Kometen von der Erde bis auf einen halben Grad angewachsen. Uebrigens war die Zeit der Sichtbarkeit des Kometen eine ungünstige, indem er nur in den Morgenstunden kurz vor Anbruch der Dämmerung zu sehen war. Bei der Wiederkehr des Kometen im Jahre 1859 ist derselbe nicht aufgefunden und 1866 nur unsicher gesehen worden. Wahrscheinlich ist sein Lauf stark durch die Erde gestört worden, der er sehr nahe kommen mußte, oder er hat sich ganz aufgelöst. Somit dürfte die Besorgniß, daß der Komet einmal mit der Erde zusammenstoßen könnte, da er früher im November an eine Stelle des Weltraumes kam, welche die Erde auch passiren mußte, grundlos geworden sein. Statt seiner sind aber in neuester Zeit einige andere Kometen entdeckt worden, welche die Erdbahn kreuzen. Ob aber ein Zusammenstoß der Erde mit einem Kometen für die erstere gefährlich werden könnte, ob er der Atmosphäre Stoffe beimischen würde, die für die lebenden Wesen verderblich werden könnten, ist vorweg nicht zu entscheiden.

Das oben beschriebene Phänomen der Trennung hat aber mancherlei Fragen angeregt: Besitzen alle Kometen die Fähigkeit der Trennung in mehrere andere, und mehrt sich dadurch die Zahl der vorhandenen Kometen? Einige, wenn auch unsichere Nachrichten aus dem Alterthum scheinen für die Bejahung dieser Fragen zu sprechen, und *Stephan Alexander* hat in einer Abhandlung versucht, die Entstehung aller inneren Kometen durch Theilung zu erklären. Nach der von *Schiaparelli* in Mailand in neuester Zeit gemachten Entdeckung des Zusammenhangs zwischen Kometen und Sternschnuppen (s. diese) ist es höchst wahrscheinlich geworden, daß alle Kometen einmal einem Auflösungsprozeß entgegengehen.

6. **Der Faye'sche Komet.** Dieser nur in Fernröhren sichtbare Komet ward im October 1843 beobachtet. Er zeigte einen kleinen Schweif und eine Verdichtung nach der Mitte zu. Von allen Kometenbahnen nähert die seinige sich am meisten dem Kreise; denn seine Excentricität betrug bei seiner dritten Wiederkehr 1858 nach *Möller* in Lund nur 0,5556. Er hat indessen sein Perihel jenseit der Merkursbahn, da seine kleinste Entfernung von der Sonne = 1,694 Sonnenweiten ist; sein mittlerer Abstand ist = 3,813, der größte = 5,932 Sonnenweiten. Seine Bahn, die gegen die Ekliptik um einen Winkel von 11° 22′ 10″ geneigt ist, durchläuft er in 7,445 Jahren. Da er in seinem Aphel dem Jupiter sehr nahe kommen kann, was 1839 geschah, so übt derselbe einen großen Einfluß auf seine Bahn und damit auf seine Umlaufszeit aus. Die Größe dieses Einflusses ist aber so sicher bestimmt, daß der Komet nach 7jähriger Abwesenheit am 22. August 1865 pünktlich an der berechneten Stelle erschien.

7. **Der dritte Komet von 1819.** Er wurde von *Pons* entdeckt und erwies sich nach der Berechnung von *Encke* als ein Komet mit kurzer Um-

laufszeit, etwa $5^1/_2$ Jahr. Er hätte darum schon mehrmals wiederkehren müssen, ist aber wegen ungünstiger Lage seiner Bahn erst nach 7maligem Umlauf 1858 von *Winnecke* in Bonn wiedergefunden worden, so daß er sicher zu den periodischen Kometen gezählt werden muß. *Encke*'s Rechnung stimmt mit der neusten von *Seeling* sehr gut zusammen. Am 2. Mai ging er in einem Abstande von 0,769 durch sein Perihel. Die mittlere Entfernung betrug 3,139 und die größte 5,510 Sonnenweiten, so daß die Excentricität der Bahn = 0,755 der halben großen Achse war. Die Neigung der Bahn war = 10° 48′ 12″. Dieser Komet wurde am 9. April 1869 von *Winnecke* wiedergefunden, nachdem er seit 1858 zwei Umläufe gemacht hatte. Am 30. Juni ging er durch sein Perihel und ist nach diesem Durchgange bis Ende Septbr. beobachtet worden.

Außer den bis jetzt genannten 7 Kometen scheinen noch einige andere von kurzer Umlaufszeit und daher periodisch zu sein. Dahin gehören:

a) Der Komet von 1783. Er wurde von *Pigott* entdeckt und von *Burkhardt* und *C. H. F. Peters* berechnet. Nach letzteren hat er eine mittlere Entfernung von 3,260 bei einer Excentricität von 0,552. Die Umlaufszeit beträgt 5,88 Jahr.

b) Der vierte Komet von 1819, entdeckt von *Blanpain*. Er ging nach *Encke* am 20. Novbr. durch das Perihel in einem Sonnenabstande von 0,892. Seine mittlere Entfernung war = 2,849 und seine Excentricität = 0,686. Den Umlauf vollendet er schon in 4,81 Jahren.

c) Der zweite Komet von 1867. Er wurde am 3. April von *Tempel* in Marseille entdeckt und zeigte das schon öfters bemerkte Pulsiren lichter Punkte in seinem Kerne. Er ging nach *E. Beckers* (Berlin) Rechnung am 20. Mai durch das Perihel in einem Sonnenabstande von 1,56. Die mittlere Entfernung betrug 3,113, die Excentricität 0,498, die Umlaufszeit 5,49 Jahre.

Die Zukunft wird über die Richtigkeit der Rechnungen entscheiden.

8. **Der Lexellsche Komet.** Eine besondere Erwähnung verdient der *Lexell*sche Komet, der wenigstens einige Zeit hindurch zu den periodischen Kometen mit kurzer Umlaufszeit gehört hat.

Er wurde von *Messier* im Jahre 1770 als ein schwacher Nebelfleck gefunden, wuchs aber in 8 Tagen zu einem Sterne zweiter Größe an; erst nach seinem Durchgange durch das Perihel entwickelte er einen kleinen Schweif von 1° Länge. *Lexell* in Petersburg bestimmte seine mittlere Entfernung von der Sonne zu 3,14786 Sonnenweiten, während später *Burkhardt* für dieselbe 3,143462, und für die kleinste Entfernung 0,67436 Sonnenweiten fand. Der Umlauf erfolgte nach beiden Astronomen in c. 5 Jahren 7 Mon. Hiernach hätte der Komet in den Jahren 1776 und 1781 wiedererscheinen müssen; er ist aber bisher nicht wiedergesehen worden, und dies hat, wie *Lexell* vermuthete und *Laplace* analytisch dargethan hat, in dem Umstande seinen Grund, daß der Komet in den Jahren 1767 und 1779 dem Jupiter so nahe gekommen

ist, daß er zwischen dem Hauptplaneten und den Bahnen der Monde hindurchging. Hierbei ist die Bahn des Kometen gänzlich verändert worden, da Jupiter ihn wegen der großen Nähe 24 mal so stark anzog als die Sonne. Er selbst aber hat auf den Lauf Jupiters und seiner Monde keinen bis jetzt wahrnehmbaren Einfluß ausgeübt. Hierdurch hat man einen sicheren Beweis dafür erhalten, daß die Kometen von sehr geringer Masse sind. Dies bestätigt auch der unmerkliche Einfluß, den der Komet auf die Bewegung der Erde ausgeübt hat. Er näherte sich derselben bis auf 363 ihrer Halbmesser, und hätte er die Masse der Erde gehabt, so würde er unser Jahr um 4 Stdn. 10 Min. haben verlängern müssen, was, wie wir wissen, nicht geschehen ist. Wäre seine Masse $= \frac{1}{5000}$ der Erdmassee gewesen, so hätte er eine Verlängerung des Jahres von 3 Sek. hervorrufen müssen, und da diese ebenfalls nicht eingetreten ist, so weiß man soviel gewiß, daß die Masse des Kometen geringer als $\frac{1}{5000}$ der Erdmasse gewesen. Da der Durchmesser des Kometen, ohne den Schweif, 44000 geogr. Mln., der körperliche Inhalt aber das 16774fache dessen der Erde betrug, so ergiebt die Rechnung, daß seine Dichtigkeit nur $\frac{1}{20000}$ der der atmosphärischen Luft betragen haben kann.

II. Periodische Kometen mit längeren Umlaufszeiten, die in ihrer mittleren Entfernung innerhalb der Neptunsbahn bleiben.

Zu dieser zweiten Gruppe gehören 11 Kometen, deren Umlaufszeit etwa zwischen 13 und 77 Jahren schwankt. Von ihnen sind nur zwei wiedergekehrt, nämlich der zweite Komet von 1790 und der *Halley*sche, die zugleich merkwürdigerweise rückläufig sind, während alle andern sich rechtläufig gezeigt haben. Nach ihrer mittleren Entfernung von der Sonne geordnet, ergiebt sich für die hierher gehörenden Kometen folgende Reihenfolge:

1. **Der zweite Komet von 1790.** Er wurde von *Méchain* entdeckt und vom 9. Jan. bis 1. Febr. beobachtet. Nachdem er 5 mal ungesehen sein Perihel erreicht hatte, wurde er 1858 von *Tuttle* wieder entdeckt und von *Bruhns* berechnet. Als er am 23. Febr. durch sein Perihel ging, befand er sich nur 1,025 Sonnenweiten von der Sonne. In der mittleren Entfernung betrug der Abstand 5,726; in der größten dagegen entfernt er sich bis auf 10,427 von der Sonne, befindet sich also zwischen Saturn und Uranus. Die Excentricität der Bahn ist = 0,820 und die Neigung derselben = 54° 24′ 10″. Die Umlaufszeit beträgt 13,7 Jahre.

2. **Der sechste Komet von 1846** wurde von *C. H. F. Peters* entdeckt und von *d'Arrest* berechnet. Sein Perihel erreichte er am 1. Juni in einem Abstande von 1,537, also zwischen Mars und Flora. Die mittlere Entfernung betrug 6,321, die größte daher 11,105; er stand im Aphel also

ebenfalls zwischen Saturn und Uranus. Die Excentricität war = 0,756 und die Neigung = 31° 2′ 14″. Die Umlaufszeit ist = 15,89 Jahren.

3. **Der erste Komet von 1866** wurde am 19. Decbr. von *Tempel* in Marseille entdeckt und ging nach Dr. *Opolzers* (Wien) Berechnung am 11. Jan. in einem Abstande von 0,976, also zwischen Venus und der Erde, durch sein Perihel. Seine mittlere Entfernung erreichte der lichtschwache Komet in 9,607 Sonnenweiten, und im Aphel kommt er in 18,238 Entfernung der Uranusbahn nahe. Die Excentricität der Bahn ist = 0,898, und die Neigung derselben = 17° 18′ 27″. Den Umlauf soll er in 29,78 Jahren vollenden.

4. **Der erste Komet von 1867.** Er wurde am 26. Jan. zuerst von *Stephan* in Marseille und am 28. Januar ebendaselbst von *Tempel* entdeckt. Nachdem der Komet etwa zwei Monate auch auf andern Sternwarten beobachtet worden war, fand *Winlock* in Cambridge (Ver. St.), daß derselbe am 19. Jan. in einem Sonnenabstande von 1,572 das Perihel passirt habe. Die mittlere Entfernung ergab sich = 10,417, die größte bei einer Excentricität von 0,849 = 19,362, so daß er im Aphel über die Uranusbahn hinausgeht. Die Bahn ist gegen die Ekliptik um 18° 12′ 35″ geneigt. Den Umlauf wird er in 33,62 Jahren vollenden.

Die bis jetzt betrachteten 4 Kometen können als Vermittler zwischen den Kometen von kurzer Umlaufszeit und den nun folgenden 7 angesehen werden, die etwa eine doppelt so lange Umlaufszeit besitzen.

5. **Der Westphalsche Komet** oder der dritte des Jahres 1852. Er hat seinen Namen nach dem Entdecker, der ihn am 27. Juni fand und später auch seine Bahn berechnete. Im Perihel war der Komet am 12. Octbr. 1,249 Sonnenweiten von der Sonne entfernt. Der mittlere Abstand ergab sich = 15,44, der größte dagegen, bei einer Excentricität der Bahn von 0,919, zu 29,63. Er kommt mithin im Aphel dem Neptun nahe, geht aber noch nicht über die Bahn dieses Planeten hinaus. Die Neigung der Bahn ist = 40° 55′, und die Umlaufszeit = 60,7 Jahren.

6. **Der Komet von 1812** ward am 20. Juli dieses Jahres von *Pons* entdeckt und bis Ende Septbr. beobachtet. Nach *Enckes* sorgfältiger Berechnung ist die mittlere Entfernung des lichtschwachen Kometen = 17,095; die kleinste betrug am 15. Septbr. nur 0,777, die größte dagegen wird bis auf 33,4 Sonnenweiten = 690 mill. Mln. wachsen, so daß dieser Komet, wie alle noch folgenden, die jetzigen Grenzen des Planetensystems überschreitet. Die Excentricität der Bahn ist = 0,954, die Neigung derselben = 73° 57′ 3″. Erst in fast 71 Jahren wird der Komet zur Sonne zurückkehren. Es ist nicht unmöglich, daß derselbe mit dem 1672 von *Hevel* sorgfältig beobachteten identisch ist, da die Bahnen beider einige Aehnlichkeit haben; er würde dann seit 1672 bereits zwei Umläufe gemacht haben.

7. **Der de Vico'sche Komet von 1846,** der vierte dieses Jahres, hat seinen Namen nach dem Entdecker. Er konnte vom 20. Febr. bis zum 1. Mai beobachtet, und deshalb ziemlich genau berechnet werden. Die von *Peirce*

und von *Deinse* gefundenen Resultate stimmen sehr gut überein. Nach dem erstgenannten Berechner betrug die kleinste Entfernung von der Sonne am 5. März 0,66. Im mittleren Abstande steht er 17,58, in dem größten, da die Excentricität der Bahn = 0,962 ist, 34,5 Sonnenweiten von der Sonne. Seine Bahn zeigte sich gegen die Ekliptik um einen Winkel von 85° 6′ 12″ geneigt, stand also fast senkrecht auf derselben. Den Umlauf wird der Komet in 73,7 Jahren vollenden.

8. **Der Olbers'sche Komet.** Er war der einzige des Jahres 1815 und wurde am 6. März d. J. entdeckt und trotz seiner Lichtschwäche fast ein halbes Jahr, bis zum 25. Aug., beobachtet. *Bessel* fand, daß er am 25. April in einem Abstande von 1,2128 durch sein Perihel gegangen. Die mittlere Entfernung beträgt 17,634, die größte dagegen, da die Excentricität der Bahn = 0,931 ist, 34,05 Sonnenweiten. Die Neigung der Bahn ist = 44° 29′ 45″, und die Umlaufszeit = 74,05 Jahren. Mit Berücksichtigung der planetarischen Störungen, die seine Umlaufszeit um 824½ Tag verkürzen, erwartet man seinen nächsten Perihel-Durchgang am 9. Febr. 1887 um 10 Uhr abends.

9. **Der fünfte Komet des Jahres 1847** wurde von *Brorsen* am 20. Juli entdeckt und bis zum 12. Septbr. beobachtet. Nach *d'Arrests* Berechnung passirte der Komet am 9. Septbr. sein Perihel in einer Entfernung von 0,487, also zwischen Merkur und Venus. Die mittlere Entfernung beträgt 17,78, die größte 35,1, da die Excentricität der Bahn = 0,972 ist. Der Umlauf wird in 74,96 Jahren vollendet.

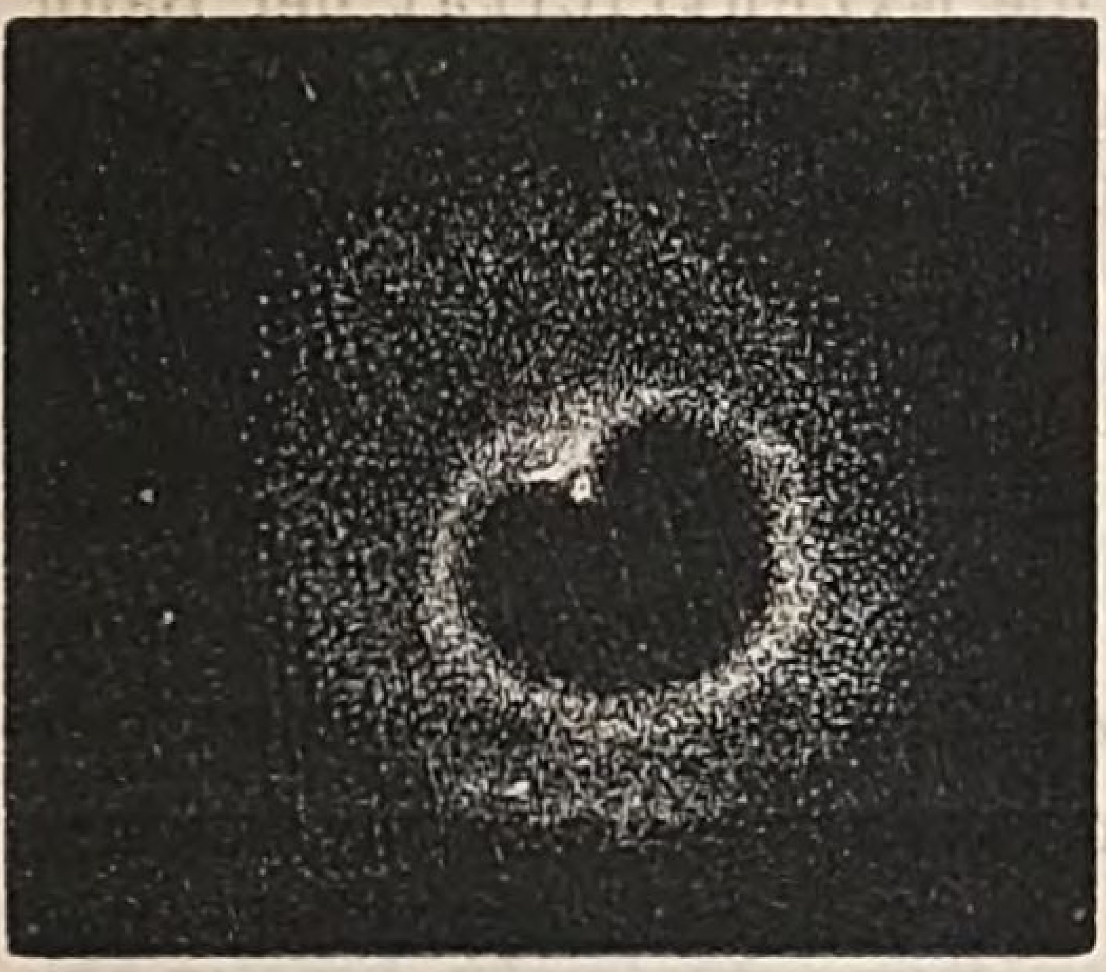
10. **Der Halley'sche Komet.** Unter allen Kometen hat dieser Komet ein besonderes Interesse erregt. Er ist bereits 6 mal, zuerst 1456, mit Sicherheit beobachtet worden, und läßt sich selbst bis an den Anfang unserer christlichen Zeitrechnung verfolgen. Er zeichnet sich ferner durch seine außerordentliche Größe und seinen Glanz aus, und ist der erste Komet, dessen Wiederkunft man vorauszusagen wagte, und auf den *Halley* nach *Newtons* Angaben die von diesem großen Manne aufgestellte neue Lehre anwandte. Außerdem hat er, namentlich bei seiner letzten Wiederkunft, Erscheinungen dargeboten, die, wie bisher bei keinem anderen Kometen, sehr sorgfältig beobachtet werden konnten und einen Blick in das innere Wesen dieser merkwürdigen Himmelskörper gestatteten.

Bei seiner ersten sicheren Erscheinung im Jahre 1456 zeigte er sich ganz besonders glänzend. Sein Kern glänzte wie ein Stern der ersten Größe, und sein prächtiger Schweif erreichte eine Länge von 60°; er wurde aber von den Christen als ein Verkündiger des Unheils angesehen, das die in Europa eingedrungenen Türken noch fernerhin anrichten würden. Seit dieser Zeit ist er in den Jahren 1531, 1607, 1682, 1759 und 1835 mit immer mehr geschwundenem Mißtrauen wiedergesehen und beobachtet worden; er hat sich aber hinsichtlich seiner Größe und seines Glanzes, der Länge und der Gestalt seines Schweifes sehr verschieden gezeigt. In starkem Glanze erschien er 1682, und seine Beobachtung in diesem Jahre ließ *Halley* aus der Uebereinstimmung der

Bahnelemente mit denen des 1531 und 1607 erschienenen Kometen die Identität aller drei Körper erkennen; zugleich wagte er die nächste Erscheinung des Kometen für das Jahr 1758 anzukündigen, welche Vorherverkündigung, die erste dieser Art, auch richtig eingetroffen ist.

Im Jahre 1835 zeigte sich der Komet nicht besonders glänzend, mit einem geraden, schwertförmigen, 18° langen Schweife, der im Perihel wegen ungünstiger Stellung zur Erde fast ganz verschwand. Als eine merkwürdige Erscheinung aber zeigte der Komet eine eigenthümliche, von seinem Kerne ausgehende und zur Sonne gerichtete Ausströmung von Lichtmaterie, die sich nach dem Schweife zurückbog und, wie in der *Fig. 106* zu erkennen, dem Ganzen etwa das Ansehen eines entfalteten Fächers gab. Besonders aufmerksam hat *Bessel* den ganzen Vorgang beobachtet und beschrieben. Er erkannte jene Ausströmung als eine Wirkung der Sonne auf den Kometen; sie war am lebhaftesten, wenn der ausgeströmte Lichtkegel nach der Sonne gerichtet war, und ward in dem Grade schwächer, als er sich von der Sonne abwandte. Der Lichtkegel blieb nämlich nicht immer zur Sonne gerichtet, sondern machte, einem Pendel ähnlich, zu beiden Seiten der die Richtung zur Sonne bezeichnenden Linie Schwingungen von etwa 60°, wozu je 2 Tg. 7 Stdn. nöthig waren, so daß eine ganze Schwingung eine Zeit von 4 Tg. 14 Stdn. erforderte. Aehnliches hatte bereits der Komet von 1744 gezeigt, und ist in neuster Zeit auch sehr schön an dem *Donati*'schen Kometen von 1858 (s. diesen), sowie an dem zweiten Kometen von 1861 und auch am dritten von 1862 beobachtet worden, so daß man der Ansicht sein muß, daß eine solche Ausstrahlung der Anfang der Schweifbildung ist. Jedenfalls sind dies merkwürdige Erscheinungen, welche auf das Dasein einer Polarkraft leiten, wie wir dergleichen an der Kraft eines Magneten haben. Allein unbegreiflich erscheint die Größe dieser Kraft, die im stande sein soll, in kurzer Zeit die Kometenmasse mehrere millionen Meilen von dem Kerne derselben zu entfernen. Bei dem großen Kometen von 1843 genügten wenig mehr als zwei Tage dazu, einen fast 100° langen Schweif hinter dem Kometen zu entwickeln. Mit welcher ungeheuren Geschwindigkeit müssen die den Schweif bildenden Theile von dem Kometen abgeschleudert worden sein! Und noch räthselhafter ist es, wie bei dem Durchgange des Kometen durch das Perihel der Schweif schon in wenigen Stunden eine Schwenkung von 180° machen konnte. Welche ungeheuren Geschwindigkeiten mußten dabei die fernsten Theile des Schweifes entwickeln, damit dieser von der Sonne abgewendet bleibe! Man muß fast geneigt sein daran zu zweifeln, daß materielle Theile dabei fortgeschleudert werden, und zu vermuthen, daß der Schweif vielleicht nur eine optische Erscheinung sei.

Fig. 106.



Was die Elemente der Bahn des *Halley*schen Kometen betrifft, so beträgt die mittlere Entfernung von der Sonne, abgeleitet aus der letzten Beobachtung vom 5. Aug. 1835 bis 17. Mai 1836, nach *Westphal* 17,987, die kleinste nur 0,586, die größte hingegen 35,38 Sonnenweiten. Die Excentricität ist = 0,967 der halben großen Achse, und die Neigung der Bahn zur Ekliptik = 17° 45′ 5″. Die Umlaufszeit kann durch die Einwirkung der Planeten, denen er nahe kommt, verändert werden und bewegt sich zwischen 75 und 76 Jahren. Endlich ist merkwürdig, daß der Komet retrograd ist, sich also von O. nach W. um die Sonne schwingt.

11. **Der dritte Komet von 1862.** Dieser mit freiem Auge sichtbare Komet wurde zuerst am 15. Juli in Amerika und später auch an verschiedenen Orten Europas gesehen. War er auch dem unbewaffneten Auge kein glänzendes Objekt, so ist er doch durch die schon oben angedeuteten Veränderungen in seiner Coma und auch dadurch interessant, daß er durch seine etwa 124 Jahre betragende Umlaufszeit als ein Vermittlungsglied zu den der dritten Gruppe angehörenden Kometen angesehen werden kann, welche letztere erst in mehreren Jahrhunderten meist außerhalb der Neptunsbahn ihre langen Bahnen vollenden.

Nach der Berechnung des Dr. *Opolzer* in Wien erreichte der in Rede stehende Komet sein Perihel am 22. Aug. in einem Sonnenabstande von 0,962. Die mittlere Entfernung beträgt 24,85, die größte, bei einer Excentricität der Bahn von 0,961, dagegen 48,74 Sonnenweiten. Die Bahn zeigte sich um 66° 25′ 33″ geneigt, und die Umlaufszeit ergab sich zu 123,9 Jahren.

III. Kometen mit langen Umlaufszeiten, welche in ihrer mittleren Entfernung über die Neptunsbahn hinausgehen.

Zu dieser Gruppe gehört eine nicht unbedeutende Zahl besonders großer Kometen, die durch ihre große Lichtstärke und einen glänzenden, langen Schweif die Aufmerksamkeit der Zeitgenossen auf sich zogen. Sie gehen, zum großen Theil rückläufig, in sehr excentrischen Bahnen einher, die sie erst in mehreren Jahrhunderten und selbst Jahrtausenden vollenden; ja für manche scheint kaum eine elliptische Bahn angenommen werden zu können, so daß es nicht auszumachen ist, ob sie je wieder zu unserer Sonne zurückkehren. Wir wählen in dem Folgenden einige der wichtigsten aus.

1. **Der große Komet von 1843,** der erste dieses Jahres. Unter den in neuerer Zeit erschienenen Kometen dürfte dieser in der Mitte des März 1843 bei uns gesehene durch die außerordentliche Länge des Schweifes den Lesern noch in Erinnerung sein. Dieser Schweif war um die genannte Zeit fast das Einzige, was man von dem Kometen sah; er erreichte wohl 50 bis 60° scheinbare Länge, was bei seiner damaligen Entfernung von der Erde eine wahre Länge von 30 bis 40 mill. Mln. voraussetzt. Mit Hilfe eines Fernrohrs erkannte man tief unten am Horizonte den merkwürdig kleinen Kern des Kometen.

Es schien, als ob der letztere den größten Theil seiner Masse zur Bildung seines ungeheuren Schweifes verwendet habe. Dieser Schweif zeigte sich außerdem als ein hohler Lichtkegel, dessen Seiten heller als die Mitte leuchteten, und an dessen Spitze der eigentliche Komet stand. An vielen Orten konnte nur der Schweif gesehen werden. Den größten Glanz entwickelte der merkwürdige Komet am 28. Febr. kurz nach seinem Durchgange durch das Perihel. Er ward deshalb an diesem Tage an vielen Orten gleichzeitig entdeckt, und sein Glanz übertraf den aller bis jetzt beobachteten Kometen. In Italien ward er am hellen Mittag gesehen, wenn man sich in den Schatten stellte, und *Amici* fand ihn nur 1° 23′ östlich vom Mittelpunkt der Sonne auf; sein Schweif erschien fast wie ein Rauch. *Bowring* beobachtete ihn am 28. Febr. in Mexiko von morgens 9 Uhr bis Sonnenuntergang und fand um 4 Uhr 12 Min. nachmittags seine Entfernung von der Sonne gleich 3° 53′ 20″ und seinen Schweif 34′ lang. Aber nur von diesem einen Tage liegen Tagesbeobachtungen vor; sein Glanz scheint sich demnach schnell vermindert zu haben. Doch erschien er in Lissabon am 8. März noch im Glanze Jupiters. In der ersten Woche des April war er allen Beobachtern verschwunden. Unter allen bis jetzt berechneten Kometen ist er der Sonne am nächsten gekommen, selbst näher als der Komet von 1680. Hieraus erklärt sich wahrscheinlich der ungewöhnliche Glanz in der Sonnennähe, aber auch die schnelle Verkleinerung des Kernes auf Kosten des riesigen Schweifes. Die Ausstrahlung seiner Masse scheint so gewaltig gewesen zu sein, daß bedeutende Theile derselben aus dem Bereiche seiner Anziehung gerathen und als Schweif zurückgeblieben sind.

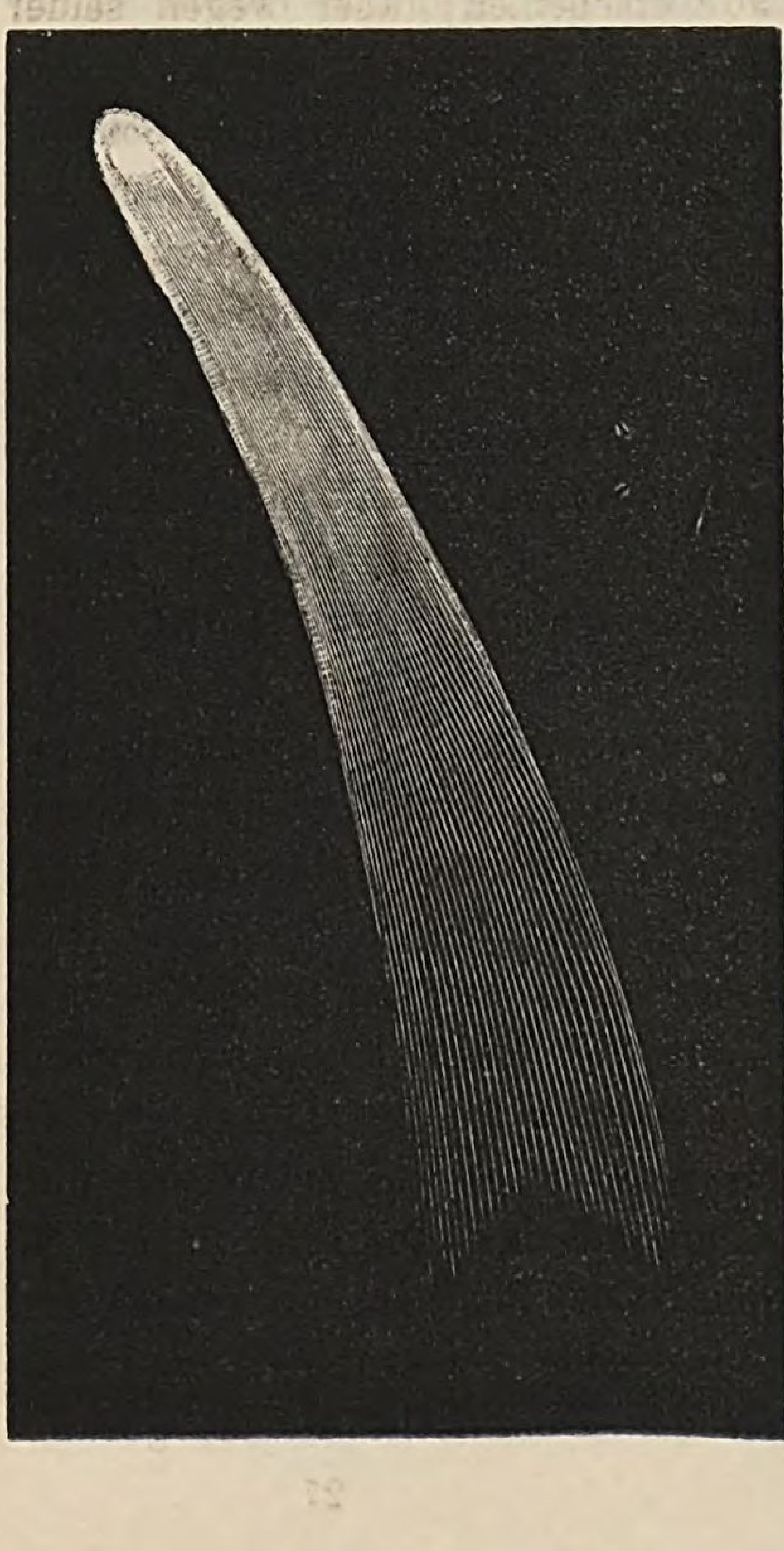
Vergleicht man die Bahnelemente des Kometen mit denen früher beobachteter, so findet sich eine merkwürdige Uebereinstimmung mit dem von *Cassini* im Jahre 1668 zu Paris gesehenen Kometen; es zeigte auch dieser letztere einen außerordentlich langen Schweif bei einem kleinen Kopfe. Ist der Komet von 1843 mit ihm identisch, so würde die Umlaufszeit 175 Jahre betragen, eine Zeit, die nahezu auch *Boguslawski* aus seinen Rechnungen gefunden hat. Die Richtigkeit der Umlaufszeit vorausgesetzt, dürfte der Komet schon mehrmals beobachtet worden sein, und auch mit den in den Jahren 268, 442, 968, 1143, 1317 und 1493 erschienenen identisch sein. Sicherheit läßt sich hierüber aber leider nicht erlangen, da es bei Kometen, deren Perihel-Distanz, wie bei dem in Rede stehenden, so außerordentlich klein, deren Excentricität also so groß, fast gleich der Einheit ist, sehr schwer hält, die Umlaufszeit mit einiger Sicherheit zu berechnen. Denn an den Scheiteln ist eine sehr excentrische Ellipse nur wenig von einer Parabel verschieden, und die aus der kurzen Beobachtung abgeleiteten Bahnelemente passen für eine elliptische und auch für eine parabolische Bahn.

Hubbard hat die Elemente dieses interessanten rückläufigen Kometen sehr sorgfältig berechnet und findet, ohne auf die etwaige Identität mit andern Kometen Rücksicht zu nehmen, den Perihel-Abstand am 27. Febr. = 0,0055, die mittlere Entfernung = 65,71, die größte, da die Excentricität

= 0,9999 sich ergab, = 131,35, die Neigung der Bahn = 35° 40′ 39″, und die Umlaufszeit = 533 Jahren. Daß durch Combination der Bahnelemente anderer Kometen, die denen des in Rede stehenden sich mehr oder weniger ähnlich zeigen, andere Resultate sich ergeben, ist schon oben angedeutet worden. Erst die Rückkehr zur Sonne kann die noch vorhandene Unsicherheit beseitigen.

2. **Der erste Komet von 1811.** Als ein schöner Komet, der manchen älteren Personen gewiß noch in Erinnerung ist, der seiner Zeit die Phantasie so lebhaft beschäftigte und später als ein drohendes Vorzeichen der Freiheitskriege gedeutet wurde, ist der erste Komet des Jahres 1811 zu nennen. Er erschien im März des genannten Jahres, und obgleich er sich der Erde nur bis auf 25½ mill. Mln. näherte, so ist er doch, wenn auch mit Unterbrechungen, länger als ein Jahr, 511 Tage hindurch, beobachtet und seine Bahn deshalb mit großer Genauigkeit berechnet worden. Am 12. Septbr. ging er in einer Entfernung von 1,0354 Sonnenweiten durch sein Perihel; aber sein Glanz war so außerordentlich, daß er noch in einem Abstande von 80 mill. Meilen von der Senne und von mehr denn 60 mill. Meilen von der Erde, wenn auch ohne Schweif, gesehen werden konnte. Der Schweif erreichte eine Länge von 12 bis 15 mill. Mln., breitete sich, der Sonne abgewendet, aus und glich einem Beutel, in den der eigentliche Komet, einer feurigen Kugel ähnlich, nicht bis zum Boden hinabreichte. Merkwürdig, doch später öfter gesehen, war ein dem Kometen vorangehender, glänzender Bogen, der durch einen dunkleren Raum von dem Kerne getrennt war, und durch den noch Sterne 8. und 9. Größe, wenn auch mit geschwächtem Lichte, hindurchschienen. In der *Fig. 107* ist der Komst dargestellt, wie er von *Olbers* am 7. September gesehen wurde. Später zeigte der Komet eine sehr merkliche Krümmung des Schweifes.

Fig. 107.



Die Berechnung der Bahn des rückläufigen Kometen durch *Argelander* ergab ebenfalls eine sehr bedeutende Excentricität derselben; sie betrug nicht weniger als 0,995 der halben großen Achse, und diese excentrische Bahn durchläuft der Komet erst in 3065,56 Jahren, was bis auf etwa 43 Jahr mehr oder weniger genau ist; doch verkürzen bei

der nächsten Wiederkehr die planetarischen Störungen die Umlaufszeit um 177 Jahr, so daß sein diesmaliger Umlauf 2888 Jahr dauern wird und der Komet im Jahre 4699 wieder erwartet werden kann. Die mittlere Entfernung erreicht der Komet erst in 211,02 Sonnenweiten, und in seinem Aphelio wird er nicht weniger als 8700 mill. Mln. von der Sonne entfernt sein, und ihm hier dieselbe unter dem kleinen Winkel von nur 4″,6 erscheinen, so groß, wie von uns Uranus gesehen wird; doch wird sich die Sonne ihm immer noch als der hellste Fixstern des Himmels zeigen. Die Neigung der Bahn beträgt 73° 2′ 21″.

3. **Der Komet von 1680** gehört zu den merkwürdigsten aller bisher erschienenen Kometen. Er zeichnete sich nicht nur durch die außerordentliche Größe seines Schweifes, der 80° Länge erreichte, sondern auch dadurch vor allen andern Kometen aus, daß er sich unter allen als elliptisch erkannten Kometen von der Sonne am weitesten entfernte. Er stand nämlich in seinem Aphel nicht weniger als 17700 mill. Mln. (nach *Encke*) von der Sonne ab, und diese erschien ihm unter dem kleinen Winkel von $2^1/_4$″, also kaum halb so groß als dem vorigen Kometen. Seine Sonnennähe aber erreichte er am 17. Decbr. in nur 128000 Mln. Abstand vom Sonnenmittelpunkte, so daß er von der Oberfläche der Sonne nur etwa 32000 Mln. entfernt war. Hier mußte ihm die Sonne unter einem Winkel von 96° erscheinen; aber wegen seiner außerordentlichen Geschwindigkeit, $73^1/_2$ Mln. in 1 Sek., mußte sie schnell an Größe abnehmen. Langsam dagegen bewegt sich der Komet in seiner Sonnenferne, wo er den geringen Weg von nur $12^1/_5$′ in 1 Sek. zurücklegt; immer aber gehorcht er noch der Sonne und wird, wie die Rechnung gezeigt hat, wahrscheinlich nach 8814 Jahren zu derselben zurückkehren. Groß muß der Wechsel an Licht und Wärme sein, dem der Komet in den entgegengesetzten Punkten seiner Bahn ausgesetzt ist. Seine Excentricität ist fast gleich der Einheit, nämlich = 0,9999854 der halben großen Achse. Die kleinste Entfernung von der Sonne ist = 0,00622, die mittlere = 426,685, die größte aber = 853,3 Sonnenweiten. Die Neigung der Bahn ist = 60° 40′ 16″, die Bewegung ist rückläufig.

Dieser Komet ist endlich noch dadurch interessant, daß durch ihn der Pastor *Dörfel* zu Plauen im sächsischen Voigtlande auf die Ansicht geführt wurde, daß die Kometen Weltkörper seien, die in Parabeln einhergingen, in deren Brennpunkt sich die Sonne befinde.

4. **Der Donati'sche Komet.** Im Jahre 1556 war ein großer Komet erschienen, den man mit dem herrlichen Kometen von 1264 glaubte identificiren zu dürfen, so daß sich für denselben eine Umlaufszeit von 291 Jahren ergeben würde. Man war daher gegen Ende der Fünfziger Jahre auf die Wiederkunft des Kometen gespannt, und in der That brachte uns das Jahr 1858 gegen sein Ende hin eine äußerst prächtige Erscheinung. Die Beobachtung ergab aber bald, daß es nicht der erwartete, sondern ein bisher unbekannter Gast war, der nach seinem Entdecker jetzt gewöhnlich der *Donati*sche Komet genannt

wird und gewiß noch vielen Lesern in Erinnerung ist. Er war der 5. des Jahres 1858 und wurde zuerst am 2. Juni von *Donati* in Florenz im Kopfe des großen Löwen als ein schwaches Lichtobjekt, etwa gleich einem Stern 10. bis 11. Größe, entdeckt und nach dem bald darauf eingetretenen Mondschein am Ende des Monats auch an mehreren anderen Orten aufgefunden. Anfänglich erschien er ohne deutlichen Kern und ohne Schweif, welche beide sich erst am 20. Aug. bemerklich machten. Am 29. Aug. konnte er bereits im Glanze eines Sternes 5. bis 6. Größe mit bloßen Augen gesehen werden und nahm von nun an mit der Annäherung an sein Perihel, das er zwischen dem 29. und 30. Septbr. erreichte, rasch an Glanz zu. Sein Abstand von der Sonne betrug jetzt nur 11,9 mill. Mln., während er von der Erde 14,8 mill. Mln. entfernt war. Am 30. Septbr. erschien der schon sehr verkleinerte, aber stark leuchtende Kern wie nur halb erleuchtet, etwa wie der Mond im letzten Viertel, und es schien, als ob er einen kurzen Schatten in den Schweif hinein werfe. Den größten Glanz erreichte der Komet aber erst am 5. Octbr. mit weiterer Annäherung an die Erde und war nun sowohl für den bloßen Anblick als auch im Fernrohr ein äußerst interessantes Objekt, das selbst bei hellem Sonnenschein gesehen werden konnte. Setzt man seine Lichtstärke zur Zeit seiner Entdeckung gleich 1, so betrug sie nun 237, und er erschien fast in gleichem Glanze mit dem hellen Arktur, in dessen Nähe sein Kopf stand. Der sanft gekrümmte Schweif hatte eine Länge von 35°, was einer wirklichen Ausdehnung von 7 mill. Mln. entspricht. Die Breite desselben betrug am Ende 5° bis 6° oder über 1 mill. Mln. Merkwürdig waren einige matte N e b e n s c h w e i f e, die sogar bis 11 mill. Mln. Länge erreichten. Am 10. Octbr. war der Komet der Erde am nächsten (11 mill. Mln.); sein Schweif dehnte sich wegen günstiger Stellung zur Erde durch 60° aus und hatte eine Länge von fast 11 mill. Mln. bei einer Breite von 2,1 mill. Mln. am Ende. Der Lichtglanz hatte indessen schon merklich nachgelassen, und der innere Raum des Schweifes, der bisher durch einen auffallend dunklen Raum sehr deutlich in 2 getrennte Aeste getheilt war, von denen bald der eine, bald der andere heller erschienen war, füllte sich allmählich mit mattem Nebellicht. Auffällig waren ferner an dem genannten und den beiden folgenden Tagen 20—30° vom Kerne mehrere etwa 5° breite, fast parallele, durch 20—30′ breite dunkle Zwischenräume geschiedene hellere Streifen, den Strahlen zu vergleichen, die häufig die Nordlichter durchzucken, aber ohne deren Veränderlichkeit. Sie erschienen fast als die Schweife von 5—6 kleineren Kometen, die die Ueberbleibsel des großen bildeten. — Am 11. Octbr. überschritt der Komet den Aequator und trat in die südliche Hemisphäre ein; er konnte deshalb, vom 20. Octbr. ab, nachdem er uns bereits als ein Stern 3. Größe entschwunden war, noch in südlichen Breiten beobachtet werden. In Santjago (Chili) ist er noch am 1. März 1859 gesehen worden.

Der Komet zeigte außerdem noch manche bemerkenswerthe Eigenschaften. Zunächst war, wie schon oft beobachtet worden, die Verkleinerung des Kernes

mit der Annäherung an die Sonne sehr auffällig; doch scheint dieselbe nicht gleichmäßig, sondern etwas sprungweise geschehen zu sein. Nach *Littrow* erschien am 19. Juli der scheinbare Durchmesser 5″ groß, was einen wahren Durchmesser von 1180 g. Mln. voraussetzt, ein Werth, der vielleicht etwas zu groß ist, da der Kern wegen tiefer Stellung des Kometen mit der Nebelhülle verschwamm. Am 9. Septbr. erschien der besser begrenzte Kern nur 3″ groß, = 420 g. Mln.; am 23. Septbr. ebenfalls 3″ = 271 g. Mln.; am 2. Octbr. 3″,2 = 331 g. Mln.; am 5. Octbr., dem Tage des größten Glanzes, kleiner als 2″, etwa = 100 g. Mln.; am 8. Octbr. 4″,4 = 237 g. Mln.; am 18. Octbr. 3″ = 191 g. Mln.

Die Verkleinerung des Kernes wird erklärlich durch die häufig wiederholte Ausstrahlung desselben, die bei diesem Kometen noch auffälliger als an dem *Halley*schen beobachtet worden ist. Vor einer solchen Ausstrahlung, die mit dem 17. Septbr. begann, leuchtete der Kern stets lebhafter als nach derselben. Die ausgestrahlte Masse stellte sich als ein Lichtbogen dar, der den Kern umhüllte, durch einen dunklen Raum von ihm getrennt war und nach dem Schweife zu umbog, bald mehr nach dem nördlichen, bald mehr nach dem südlichen Schenkel desselben. Nach erfolgter Ausstoßung der Masse erschien der Kern sehr merklich kleiner, um bei Beginn einer neuen wieder zu wachsen. Am 10. Octbr. waren nicht weniger als fünf solcher Hüllen ganz oder theilweise sichtbar. Durch die Ausstrahlung von Nebelmasse hatte sich das Volumen des Kernes bis auf $^1/_{20}$ verringert; die andern $^{19}/_{20}$ waren zur Bildung der Hüllen oder des Schweifes verwendet worden.

Jedenfalls war der *Donati*sche Komet eine interessante Erscheinung, und wenn er in wirklicher Größe auch von vielen übertroffen worden ist, wie z. B. von dem großen Kometen von 1811, so wurde er doch hinsichtlich des Glanzes seines Kernes nur von wenigen erreicht. Ungewöhnlich klein war die Nebelhülle; dieselbe zeigte nie viel mehr als 20000 Mln. Durchmesser, während die des Kometen von 1811 sich bis auf 64000 g. Mln. über den Kern erhob.

Der *Donati*sche Komet durchschreitet seine langgestreckte Bahn (nach *Löwy*) erst in 2495 Jahren, und zwar rückläufig. Die Neigung gegen die Ekliptik beträgt 63° 1′ 47″, und die Excentricität ist = 0,9968, so daß die kleinste Entfernung von der Sonne nur 0,578 = 11,9 mill., die größte dagegen 367,365 = 7597,8 mill. Mln. beträgt. Im Perihel durchläuft er in 1 Sek. 7,6 Mln., im Aphelio dagegen nur etwa 270 Fuß. Eine außerordentliche Differenz!

5. **Der zweite Komet von 1861.** Schon nach kurzer Zeit sollte uns der Anblick eines zweiten schönen und großen Kometen zutheilwerden, der sein Nahen nicht lange vorher angekündigt hatte, sondern ziemlich plötzlich an unserm nördlichen Himmel seinen Glanz entwickelte, nachdem er bereits längere Zeit hindurch auf der südlichen Halbkugel, zuerst am 13. Mai von *Tebbut* in Sidney, später auch in Santjago (Chili) gesehen worden war. Am 7. Juni zeigte er an den genannten Orten bereits einen 30° langen Schweif,

der nach Süden gerichtet war, und am 24. Juni glich der Kern einem Stern erster Größe. Erst am 30. Juni, dem Tage seines größten Glanzes, wurde er in Europa sichtbar, und während sein Kern fast senkrecht zur Ekliptik nach Norden eilte, machte auch sein Schweif wegen veränderter Stellung zur Sonne eine Schwenkung nach dieser Gegend. In Athen erschien an dem letztgenannten Tage der Kopf des Kometen mondgroß, und der 120° lang gewordene Schweif verursachte deutliche Schatten. In Wien wurde er wegen des Mondscheins erst am 2. Juli beobachtet, übertraf alle Sterne erster Größe, und Kern und Coma erschienen über einen Grad groß. Der schöne Schweif war durch einen dunklen Raum in der Achse desselben deutlich in zwei Aeste gespalten. Merkwürdig waren die Ausstrahlungen am Kopfe, die nicht genau zur Sonne, sondern seitlich nach Ost gerichtet waren, und die ungleich hellen Aeste des etwa 97° langen Schweifes bildeten; der schwächere östliche Ast war weniger scharf begrenzt als der hellere westliche. Nicht minder merkwürdig war ferner ein schwächerer krummer Nebenschweif, der den geraden Hauptschweif kreuzte und ebenfalls eine bedeutende Länge erreichte. Am 2. Juli hatte der Hauptschweif eine Länge von 4,7 mill. Mln., war also kürzer als der des *Donati*schen Kometen, erschien aber länger, weil er der Erde bedeutend näher war, bis auf 3 mill. Mln. Der Komet selbst war am 30. Juni nur 2 mill. Mln. von der Erde entfernt; da er sich aber von nun an sehr schnell von derselben und zugleich von der Sonne entfernte, so nahm sein Glanz ziemlich schnell ab, so daß er sich schon gegen Ende Juli dem freien Auge entzog. Eine vorläufige Bahnbestimmung ist von *Seeling* versucht worden; darnach stand der Komet am 11. Juli in der Sonnennähe in einem Abstande von 0,822. Die mittlere Entfernung ergab sich = 56,1, die größte = 111,2. Die Excentricität = 0,985, die Neigung der Bahn = 85° 26′ 25″, und die Umlaufszeit = c. 420 Jahre.

6. **Schluß.** Nach dem Mitgetheilten sind die Kometen Himmelskörper, welche für uns des Räthselhaften viel enthalten, und selbst nach den sorgfältigen Beobachtungen, die man denselben namentlich in diesem Jahrhundert gewidmet hat, und die so viele interessante Resultate geliefert haben, ist es kaum möglich, mit einiger Bestimmtheit die so oft gethane Frage zu beantworten: Was sind Kometen eigentlich? und wie erklären sich die an ihnen wahrgenommenen Erscheinungen aus ihrem Wesen? Einige Ansichten über die Natur dieser Weltkörper haben wir bereits in dem im allgemeinen von ihnen handelnden Theile angedeutet. Die der neusten Zeit angehörende Entdeckung *Schiaparellis* in Mailand, wonach unzweifelhaft ein Zusammenhang zwischen Kometen und Sternschnuppen besteht, hat die früheren Ansichten zum Theil bestätigt, aber den Gedanken auch eine neue Richtung gegeben.

Nach *Schiaparelli**) findet sich in den Himmelsräumen die Materie in allen denkbaren Graden der Theilung vor. Den ersten Grad bilden die größeren

*) Genaueres s. in *K. v. Littrows* Kalender für alle Stände. Wien, 1868.

Gestirne, die isolirt stehen oder in wenig zahlreichen Systemen vereinigt sind. Der zweite Grad besteht aus äußerst zahlreichen Agglomerationen kleiner Gestirne, aus Sternstaub, in welchen viele Nebelflecke von mächtigen Fernröhren aufgelöst werden. Der letzte Theilungsgrad wird von kosmischen Wolken gebidet, die aus äußerst kleinen Elementen gebildet werden, dem Gewichte nach Gegenständen vergleichbar, mit welchen wir Menschen auf der Erde uns befassen. Solche Wolken können im Weltraum durch lokale Concentration der Materie entstehen nach Art der Kristallisation von Stoffen, die in Flüssigkeiten aufgelöst sind. Diese Bildungsweise ist wahrscheinlicher und häufiger als die andere, bei welcher sich durch Contraction von Materie große geballte Massen bilden. Darum können kosmische Wolken außerordentlich große Räume füllen. Die sehr lockere Anordnung der Materie und die Geringfügigkeit der Masse in ihnen wird nur geringe Anziehungen und infolge dessen geringe Bewegungen hervorrufen. Indem aber die Sonne durch die Himmelsräume schreitet (man denke an die fortschreitende Bewegung der Sonne), werden solche kosmische Wolken, von denen die größten uns als unauflösliche Nebelflecke sichtbar werden, in die Anziehungssphäre der Sonne kommen und dann beginnen, sich ihr, wegen ungleicher Entfernung zu langen Strömen angeordnet, in parabolischen Bahnen zu nähern. Die größeren, kugelförmig geballten, vielleicht auch aus größeren Elementen bestehenden Massen werden uns als Kometen sichtbar, wenn sie in der Nähe des Perihels sind, die kleineren, als Sternschnuppen, wenn sie der Erde in ihrer jährlichen Bahn begegnen, durch die irdische Atmosphäre fahren und infolge dessen leuchtend werden. Haben jene parabolischen Ströme kosmischer Massen eine bedeutende Breite, so werden für die verschiedenen Theile zufolge ungleicher Entfernung von der Sonne ungleiche Geschwindigkeiten bestehen: die näheren werden den ferneren voraneilen, und hierdurch, sowie durch die störenden Einwirkungen der Planeten, kann der ursprüngliche parabolische Strom in einen elliptischen, also geschlossenen Ring verwandelt werden, der dann vielleicht zu einem beständigen Gliede des Sonnensystems geworden ist.

Bleiben wir an diesem Punkte bei den Kometen stehen. Aus dem Gesagten erhellt, daß auch *Schiaparelli*, wie fast alle jetzigen Astronomen, da die Beobachtungen kaum eine andere Deutung zulassen, die Kometen als Agglomerationen geringerer oder größerer Massen kleiner Körperchen betrachtet, die bei äußerst lockerer Anordnung einen ungewöhnlich großen Raum einnehmen. Sie werden nur in der Sonnennähe sichtbar und reflektiren dann, wie wir bereits früher gesehen haben, das empfangene Sonnenlicht, wenigstens in Coma und Schweif. Da das Licht des Kernes sich nicht polarisirt zeigt, so scheint für diesen eigenes Licht angenommen werden zu müssen, wenigstens in der Sonnennähe. Hierfür sprechen auch die im Spektrum einiger Kometen beobachteten hellen Linien, die außerdem einen gasförmigen Zustand des Kernes voraussetzen lassen. Es ist möglich, daß die mächtige Einwirkung der Sonne, die im Centrum des Kometen wegen größerer Dichtigkeit wahrscheinlich vor-

handene größere Wärme so steigert, daß die centralen Elemente sich in leuchtende Gase verwandeln. Unerklärlich bleibt dann aber der Umstand, daß diese Gase das Licht nicht brechen.

Als die wahrscheinliche Ursache der Schweifbildung haben wir bereits die auflockernde Wirkung der Sonnenwärme genannt, die namentlich die der Sonne zugewandten Theile aus dem Bereich der geringen Anziehungskraft des Kometen bringen dürfte, und vermehrt wird diese Störung des Gleichgewichts noch durch die größere Anziehung der Sonne auf der genannten Seite. So wird die Ausstrahlung des Kopfes in der Sonnennähe erklärlich, und die von dem Kern durch einen mehr oder weniger dunklen Raum getrennten Lichtbogen sind Fluthwellen vergleichbar, die aber dem Einfluß des Kometen zunächst ganz entzogen sind und nun, durch die Wirkung der Sonne verzögert, dem Kern nicht mit gleicher Geschwindigkeit folgen können, sondern demselben als längerer oder kürzerer Schweif nachziehen. Es ist höchst wahrscheinlich, daß auf diese Weise Theile des Schweifes für den Kometen entweder für immer, oder wenigstens zeitweise verloren gehen, während der letztere in größerer Ferne von der Sonne andere Theile sich wieder aneignet. So wird die Veränderlichkeit begreiflich, die periodische Kometen bei ihren verschiedenen Wiederkünften gezeigt haben. Die von den Kometen getrennten geringeren oder größeren Massen geben nach *Schiaparellis* Ansicht unter Umständen Sternschnuppen oder Feuerkugeln und Aerolithen, wenn die Erde ihnen nahe kommt und sie zu sich herabzieht. Aber auch der Komet kann sich auf seiner Bahn ihm begegnende kosmische Massen aneignen und dadurch sich wieder vergrößern; wahrscheinlicher ist aber die endliche Auflösung der Kometen, wie der *Biela*sche davon ein Beispiel zu geben scheint. Auch der erste Komet von 1861 zeigte bereits eine so lose Verbindung zwischen Kopf und Schweif, als ob beide sich von einander trennen wollten. Merkwürdig sind in dieser Beziehung auch die Kometen von 1860 III, 1863 I und 1863 VI, die, wie *Hoek* in Utrecht gezeigt hat, im Jahre 760 v. Chr. einander so nahe standen, daß ihre gegenseitige Entfernung für einen Beobachter auf der Sonne nur 1°,33 betrug. Sie bilden ein System von Kometen, die möglicherweise früher einen größeren Kometen gebildet haben, der sich, wie der *Biela*sche, getheilt hat und dessen Theile nun in etwas verschiedenen, aber immer noch einander naheliegenden Bahnen dahinziehen. Auch die Kometen von 1677 und 1683 ist *Hoek* geneigt als zu dem obigen System gehörig zu betrachten. Demnach giebt es nicht nur Sternschnuppen-, sondern auch Kometenschwärme.

Wenn man nach dem Obigen auch die wichtigsten Erscheinungen der Kometen glaubt deuten zu können, so bleibt doch des Unerklärlichen noch gar manches bestehen. Woher rührt z. B. das eigenthümliche Oscilliren des vom Kern ausstrahlenden Lichtkegels, welches schon mehrere Kometen so deutlich gezeigt haben? Sind zur Erklärung der Schweifbildung die oben angeführten Kräfte hinreichend, oder ist dabei, wie man früher geneigt war anzunehmen, auch eine von der Sonne ausgehende polare Kraft nöthig? Wie erklärt sich

die Vielgestaltigkeit der bereits beobachteten Schweife? und was ist die Ursache der verschiedenen Krümmungen derselben? Bestehen alle Kometen aus denselben Stoffen oder ist auch in dieser Beziehung, wie in so manchen anderen, Mannigfaltigkeit vorhanden?

Diese Fragen ließen sich noch um manche vermehren; hoffentlich bringt das jetzt so lebhaft rege Interesse für diese Weltkörper und die neuen Hilfsmittel der Beobachtung bald neue Aufschlüsse. *Tyndall* ist auch in der allerneusten Zeit mit einer neuen Theorie der Kometen hervorgetreten, die manche Schwierigkeiten zu beseitigen versucht; wir gehen auf dieselbe hier aber nicht näher ein, weil sie ebenfalls gar vieles unerklärlich läßt, und deshalb mehrfachen Widerspruch erfahren hat.

Viertes Kapitel.

Der Nebelring.

Zu den wahrscheinlichen Gliedern des Sonnensystems gehört ein Nebel- oder Staubring, der, soweit die Beobachtungen zu einem Urtheil berechtigen, zwischen der Merkurs- und Marsbahn um die Sonne wirbelt.

Fig. 108.



1. Beschreibung des Zodiakallichtes. In den tropischen Gegenden der Erde, besonders aber am Aequator, entwickelt sich etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang an dem Abendhimmel in der Gegend, wo die Sonne unterging, allmählich ein eigenthümlicher heller Schein, der eine zweite, wenn auch schwächere, oft bis gegen Mitternacht anhaltende Dämmerung hervorruft. Einer Pyramide gleich baut sich eine Lichtgestalt auf, die fast bis zum Zenithe hinaufreicht. Der Fuß dieser Lichtpyramide ist bedeutend breiter, als der nach oben strebende Theil derselben. Die Seiten und die Spitze aber sind convex, und ohne den breiten Fuß würde das ganze

Phänomen als ein Theil einer lichterfüllten Ellipse erscheinen, deren große Achse die kleine wenigstens 5 mal an Länge übertrifft; siehe *Fig. 108.*

Das Licht, in welchem diese herrliche Erscheinung sich zeigt, übertrifft an Glanz die hellsten Stellen der Milchstraße zwischen dem Sternbilde des Adlers und des Schützen; gegen den Horizont hin, durch die über der Erde lagernden Dünste gesehen, erscheint es mehr oder weniger gelblich. Zuweilen bemerkt man eine Art Wetterleuchten, ein Zucken des Lichtes darin, wie man es wohl auch in Kometenschweifen gesehen hat; es ist aber noch nicht ausgemacht, ob diese Erscheinung dem Phänomen selbst eigen ist, oder ob sie vielmehr nur in plötzlichen Verdichtungen und Verdünnungen der Atmosphäre ihre Ursache hat. Besonders reizend aber wird diese Erscheinung, wenn leichtes, vom Abendwinde bewegtes Gewölk an derselben vorübergetrieben wird. Es spielen dann die Wölkchen, je nach ihrer größeren oder geringeren Dichtigkeit, in den verschiedensten Farben und heben sich von dem lichten Grunde gar lieblich ab.

Dieses wunderbare Licht wird Zodiakal- oder Thierkreislicht genannt, weil es sich stets in dem Gürtel des Thierkreises zeigt und je nach der verschiedenen Lage dieses Gürtels ebenfalls verschiedene Lagen zum Horizonte annimmt. Es ist nach *Humboldt* ein beständiger Schmuck der Tropennächte und zeigt sich nicht nur des Abends nach Sonnenuntergang, sondern auch des Morgens vor Sonnenaufgang, jedoch nicht immer in gleichem Glanze, in derselben Ausdehnung und Lage. Am herrlichsten steigt es, wie schon erwähnt, unter dem Aequator empor, indem es dort wegen der eigenthümlichen, schon beschriebenen Lage der Ekliptik und des Zodiakus zum Horizonte mit diesem die größten Winkel macht. Nachdem das Zodiakallicht am Abendhimmel einige Stunden geleuchtet, erbleicht es allmählich und ist bis Mitternacht, gewöhnlich aber früher, gänzlich verschwunden, wird aber bald durch eine ähnliche Erscheinung am Morgenhimmel ersetzt.

In unseren Breiten ist diese räthselhafte Erscheinung ebenfalls, jedoch unter viel ungünstigeren Bedingungen zu beobachten. Es macht nämlich die große Achse der Lichtpyramide mit unserem Horizonte im allgemeinen kleinere Winkel (der Winkel der Ekliptik zum Horizont schwankt für Berlin zwischen 14 und 61°), weshalb das Licht derselben zu gewissen Zeiten in den Dünsten des Horizontes mit der Dämmerung verschwimmt. Am günstigsten sind bei uns die Bedingungen der Sichtbarkeit von Mitte Februar bis Anfang April abends und von der Mitte August bis Anfang October morgens; denn zu diesen Zeiten macht, weil die nördlichen Zeichen der Ekliptik über dem Horizonte stehen, der Thierkreis mit dem Horizonte einen großen Winkel. Zu andern Zeiten ist dieser Winkel nur klein, und es verschwimmt deshalb, namentlich in den hellen Nächten des Sommers, mit der Dämmerung, ohne besonders in die Augen zu fallen.

Gewiß ist das Zodiakallicht schon in den ältesten Zeiten gesehen worden; eine eigentliche Beobachtung des Phänomens jedoch scheint erst sehr spät, und nicht vor 1683 angestellt worden zu sein, zu welcher Zeit *Dominicus Cassini*

dasselbe näher beobachtete und auch eine lange für richtig gehaltene Erklärung desselben versuchte. Seit dieser Zeit sind allmählich genauere Einzelheiten über das Zodiakallicht bekannt geworden, wiewohl an einer vollständigen und gründlichen Erforschung desselben noch gar viel fehlt. Stellen wir die bekannten Hauptmomente der Beobachtung hier kurz zusammen.

Wie schon gesagt, verhält sich die große Achse der Lichtellipse zu der kleinen etwa wie 5 : 1; indessen ist dies Verhältnis kein constantes, indem man sowohl in der Länge der großen als auch der kleinen Achse bedeutende Schwankungen wahrgenommen hat. So schwankt die (scheinbare) große Achse zwischen 40, 45, 53, 60, ja 100 und 120°, was im Mittel eine wahre Länge von etwa 20 mill. Mln. repräsentirt. Am schmalsten zeigt sich die Lichtellipse zu Anfang Juni und December, am breitesten dagegen Anfang März und September. Die große Achse derselben bildet mit der Ekliptik einen Winkel von c. 7°, d. i. einen Winkel, wie ihn etwa der Sonnenäquator mit der Ekliptik macht. Ueberhaupt scheint die ganze Erscheinung mit der Sonne in näherer Beziehung zu stehen. Verlängert man die große Achse der Ellipse, so trifft man ziemlich genau den Mittelpunkt der unter dem Horizont stehenden Sonne; auch scheint sie nur wenig von der Ebene des Sonnenäquators abzuweichen. Bemerkenswerth ist es ferner, daß die Ellipse am schmalsten gesehen wird zu Zeiten, wo die Erde nahe den Knoten des Sonnenäquators steht, dieser also als gerade Linie erscheint, was am 10. Juni und am 10. December der Fall ist, daß sie dagegen am breitesten sich zeigt, wenn die Erde von jenen Knoten etwa 90° entfernt ist, die Sonne also in den Fischen und in der Jungfrau gesehen wird, was Anfang März und September geschieht. Es erscheint zu diesen Zeiten auch der Sonnenäquator am breitesten als Ellipse.

2. **Erklärung der Erscheinung.** Die Antwort auf die Frage, was die beschriebene Erscheinung eigentlich sei, ist sehr verschieden ausgefallen. Lange Zeit hindurch hat man die von *Cassini* versuchte Erklärung, wonach das Zodiakallicht durch die sehr abgeplattete Sonnenatmosphäre erzeugt werde, die das von der Sonne empfangene Licht reflektire, für die einfachste und richtige gehalten; indessen hat *Laplace* bewiesen, daß bei der bekannten Rotationsgeschwindigkeit der Sonne die Sonnenatmosphäre sich höchstens bis auf 9/20 des Merkur-Abstandes von der Sonne entfernen kann, da hier die Schwungkraft der Anziehungskraft der Sonne das Gleichgewicht halten und die erstere Kraft die entfernteren Theile der Sonnenatmosphäre in den Weltenraum schleudern muß.

Physiker haben die Erscheinung als eine Beugung des Sonnenlichtes an der Erde erklären wollen; doch ist diese Deutung wohl die am wenigsten stichhaltige. Als die am meisten Wahrscheinlichkeit für sich habende Erklärung wird bis jetzt mit *Laplace*, *Schubert*, *Arago*, *Poisson*, *Biot*, u. a. die angesehen, wonach das Phänomen in einem planetarischen Gebilde des Sonnensystems, nämlich in einem Nebel- oder Staubringe seine Ursache habe, der zwischen der Merkurs- und Marsbahn um die Sonne rotire. Nach den oben

angegebenen Umständen, die bei der Beobachtung wahrgenommen worden sind, würde dieser Nebelring, was jedoch in neuerer Zeit von französischen Gelehrten wieder in Zweifel gezogen worden ist, ungefähr in der Ebene des Sonnenäquators die Sonne umkreisen; denn nur bei vorhandener Rotation würde der Ring seine Selbständigkeit der Anziehungskraft der Sonne und der näheren Planeten gegenüber behaupten können. Da der Sonnenäquator $7^1/_2{}^0$ gegen die Ekliptik geneigt ist, so würde sich die oben angegebene Neigung der großen Achse der Lichtellipse zur Ekliptik und ebenso der Umstand erklären, daß diese große Achse verlängert beständig die Sonne trifft; außerdem würde sich auch die für verschiedene Zeiten beobachtete verschiedene Breite der Ellipse als natürlich ergeben. Die große Veränderlichkeit der Länge der großen Achse der Lichtellipse dürfte sich durch die verschiedenen Stellungen von Merkur, Venus, Erde und Mars und die dadurch bedingte Veränderlichkeit der Anziehung auf den Ring erklären lassen.

Was ist es aber, das in jenem vermutheten Ringe um die Sonne kreiset? Am besten paßt die Annahme einer staubartigen, dem Aether beigemengten Masse, locker genug, um, wie die Kometen, das Licht der Fixsterne fast ungeschwächt hindurchzulassen. Vielleicht wird jener Staubring von der Masse gebildet, welche die Kometen in der Sonnennähe ausströmen.

Da der Ring nach den oben angegebenen Winkeln, unter denen er sich zeigt, wenigstens zuweilen über die Erdbahn hinausreichen müßte, so müßte es auch geschehen können, daß die Erde ihn zuweilen streifte. Dies würde sich freilich nur ereignen können, wenn die Erde zur Zeit einer ungewöhnlichen Ausdehnung des Ringes sich in einem der Knoten desselben befände, was nach dem Obigen nur im Anfange des Sommers und des Winters eintreten könnte. Nach *v. Kloeden* ist es nicht unmöglich, daß der im Jahre 1783 um die Mitte Juni in ganz Europa, Afrika, Syrien, Sibirien, auf dem Atlantischen Ocean bis zu einer Höhe von 10000 Fuß beobachtete trockene Nebel mit einem solchen Streifen des Staubringes seitens der Erde in Verbindung stehe. Erst nach langer Zeit senkte sich der Nebel zur Erde nieder, und hat sich in ihm die Erde möglicherweise fremden Stoff angeeignet. Vielleicht ließen sich auch die im Jahre 1831 bis zu Mitternacht anhaltenden Abendröthen mit der in Rede stehenden Erscheinung in Verbindung bringen. Indessen sind dies nur Möglichkeiten, und es ist am besten zu gestehen, daß noch das Meiste fehlt, um über das Zodiakallicht vollständig genügende Aufklärung zu geben. Hierzu werden lang fortgesetzte Beobachtungen des merkwürdigen Lichtes in den Tropengegenden erst noch reichlicheres Material zu schaffen haben. Beachtenswerth ist die Mittheilung *Gaillards* aus Point à Pitre (Gouadeloupe), nach welcher in dem ungewöhnlich heißen Sommer von 1868 das Zodiakallicht fast ganz unsichtbar war und sich erst im December wieder deutlich zeigte.

Fünftes Kapitel.

Von den Sternschnuppen.

Die unter dem Namen Sternschnuppen bekannten Phänomene, welche in heiteren Nächten, namentlich zu gewissen unten noch näher zu bezeichnenden Zeiten, die majestätische Ruhe, die gewöhnlich über den Sternenhimmel ausgegossen ist, in interessanter Weise unterbrechen, sind lange Zeit hindurch mehr als ein schönes Schauspiel, denn als Objekte strenger astronomischer Forschung betrachtet worden. War doch Jahrhunderte hindurch die Meinung verbreitet, daß sie Gebilde der irdischen Atmosphäre, brennbare Dünste seien, die sich auf irgend eine Weise entzündeten, und daher nicht Objekte der astronomischen Betrachtung, sondern der Meteorologie seien und zu den feurigen Lufterscheinungen gerechnet werden müßten. Erst nachdem *Olmsted* im Jahre 1833 darauf aufmerksam gemacht hatte, daß das sogenannte November-Phänomen von einer bestimmten Gegend des Weltenraumes komme, und bald darauf *Olbers, Quetelet* u. a. eine Periodicität sowohl dieses als des August-Phänomens constatirt, und endlich *Quetelet* und *Herrik* 1839 auch noch andere an Sternschnuppen ungewöhnlich reiche Zeiten des Jahres nachgewiesen hatten, fing man an, diese interessanten Erscheinungen als dem Sonnensystem angehörig anzusehen und sie zu Objekten strenger astronomischer Beobachtung zu machen. Die dadurch gefundenen Resultate machten es bald gewiß, daß man es mit bleibenden Gliedern des Sonnensystems zu thun habe, deren wahre Natur zu erforschen man sich angelegen sein lassen müsse. In allerneuster Zeit haben aber *Schiaparellis*, des Direktors der Mailänder Sternwarte, wichtige Entdeckungen, nach welchen ein inniger Zusammenhang zwischen Sternschnuppen und Kometen besteht (S. 421), der Forschung einen erhöhten Impuls und eine neue Richtung gegeben. Ehe wir auf diesen interessanten Gegenstand übergehen, wollen wir erst kurz zusammenstellen, was eine genauere Beobachtung des Phänomens ergeben hat.

1. **Die äußere Erscheinung der Sternschnuppen.** Wohl jeder Leser hat schon Sternschnuppen gesehen und weiß, daß mit ihnen plötzlich, und zwar in den verschiedensten Gegenden, ein Licht am Himmel aufglimmt und, nachdem es in einem mehr oder weniger glänzenden lichten Streifen, der gewöhnlich wenig gekrümmt und fast geradlinig ist, am Himmel dahingezogen, mehr oder weniger plötzlich verschwindet. Dieser lichte Streifen, nach Prof. *Newton* im Mittel 12—16° lang, ist meist nur die Wirkung davon, daß die Netzhaut des Auges den empfangenen Lichtreiz noch einige Zeit nachempfindet; glauben wir doch auch einen Lichtstreifen zu sehen, wenn ein leuchtender Punkt am Ende eines glimmenden Hölzchens schnell bewegt wird. Bei vielen, ja vielleicht den meisten, namentlich großen Sternschnuppen ist indessen der lichte Streifen nicht bloß optisch, sondern auch physisch vorhanden und wird noch

kurze Zeit gesehen, wenn die eigentliche Sternschnuppe, d. i. der dieselbe veranlassende Körper, bereits erloschen ist. Die mittlere Dauer einer Sternschnuppe beträgt nach den Beobachtungen des sogenannten Auguststromes im Jahre 1867 nach Prof. *Förster* etwa $^5/_6$ einer Sekunde, nach denen *Newtons* 0,45 Sekunden; doch hat man die Schweife mancher Sternschnuppen auch schon 3—4 Minuten lang leuchten gesehen, was dafür spricht, daß irgend welche Stoffe in der Atmosphäre verbrennen. Die Lichtstärke der Sternschnuppen ist sehr verschieden; während manche das Licht der Fixsterne erster Größe übertreffen, ist der matte Lichtschimmer anderer kaum sichtbar. Auch die Farbe ist verschieden; die Mehrzahl der Sternschnuppen, etwa $^2/_3$ derselben, erscheint weiß, etwa $^1/_7$ gelb, $^1/_{17}$ gelbroth und $^1/_{37}$ grün.

2. **Die Zahl der Sternschnuppen,** die täglich in unsere Atmosphäre eintreten, ist jedenfalls eine außerordentlich große. Nach Berechnungen von *H. A. Newton,* Prof. am Hale-College in New-Haven (Connecticut), ist die Zahl der täglich auf der ganzen Erde mit freiem Auge sichtbaren Sternschnuppen auf etwa 7$^1/_2$ mill., und könnte man den ganzen Himmel gleichzeitig mit Fernröhren betrachten, auf mehr als 400 mill. zu schätzen, und hierbei sind nur die vereinzelt erscheinenden, nicht einmal die zu gewissen Zeiten in ganzen Schwärmen auftretenden berücksichtigt. Werden diese mit in Rechnung gezogen, so steigt die Zahl auf viele Billionen. Die Zahl der wirklich gesehenen ist natürlich beträchtlich kleiner; denn wie viele werden uns z. B. durch Wolken und Nebel unsichtbar!

Uebrigens ist die Zahl auch von manchen anderen Verhältnissen abhängig, zunächst von der Zenithdistanz. Nach *H. A. Newtons* Berechnungen wächst dieselbe langsam vom Zenithe bis zu 45^0 Höhe, um von hier ab ziemlich schnell abzunehmen, welche Abnahme besonders den trübenden Dünsten der Atmosphäre zuzuschreiben ist.

Ferner ist auch die Zeit von Einfluß auf die Zahl der Erscheinungen, und zwar bedingen zunächst die verschiedenen Stunden der Nacht einen Unterschied. Die Erfahrung lehrt, daß nach Mitternacht mehr Sternschnuppen gesehen werden als vor Mitternacht, am meisten aber gegen Morgen, und dies wird dadurch erklärlich, daß die Mehrzahl der Sternschnuppen rückläufig ist, also der Erde entgegenkommt, und daß nach Mitternacht der Beobachtungsort bei der Rotation der Erde sich nach der Gegend des Himmels hinbewegt, wohin die Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne schreitet. *Schiaparelli* nennt den Punkt der Ekliptik, auf den die Erde sich hinbewegt, kurz den Apex. Am Morgen schreitet aber der Beobachtungsort gerade auf diesen Punkt zu, während er bei Sonnenuntergang ihm gegenübersteht (vergl. *Fig. 51*). In den Morgenstunden steht der Apex in der oberen, in den Abendstunden in der unteren Culmination. Einen ähnlichen Einfluß übt die Jahreszeit auf die Häufigkeit der Meteore. Zur Zeit des Frühlings-Aequinoctiums steht die Erde heliocentrisch in der Wage; der Apex liegt daher in dem Steinbock. Dieser liegt aber bei Sonnenuntergang sehr tief unter dem Horizont und bei Sonnen-

aufgang nur in geringer Höhe über demselben; es muß daher die Zahl der Meteore zur Frühlingszeit im allgemeinen nur gering sein. Zur Herbst-Nachtgleiche dagegen ist die Bewegung der Erde auf das Zeichen des Krebses gerichtet, und da dieses zur Zeit des Sonnenunterganges nur in geringer Tiefe unter dem Horizonte steht, bei Sonnenaufgang aber in sehr bedeutender Höhe in der oberen Culmination steht, so muß in den Nächten des Herbstes die Zahl der Sternschnuppen im allgemeinen bedeutender als der Durchschnitt sein. Dieser selbst muß im Anfange des Sommers und des Winters eintreten, weil dann der Apex in der Nähe der Aequinoctialpunkte liegt, die sowohl des Abends bei ihrer unteren, als des Morgens bei ihrer oberen Culmination eine mittlere Entfernung vom Horizonte haben. Mit den entwickelten Verhältnissen stimmt denn auch die Erfahrung im allgemeinen überein, und es tritt nur dann eine Ausnahme von der Regel ein, wenn die Erde, wie es wirklich der Fall ist, zuweilen durch ungewöhnlich reiche Sternschnuppenschwärme kommt. Als solche Zeiten sind besonders die Tage vom 10. bis 12. August, und die vom 13. bis 14. Novbr. zu nennen, über welche später noch Genaueres mitgetheilt werden wird.

3. **Höhe der Sternschnuppen.** Seitdem man angefangen, die Sternschnuppen planmäßig zu beobachten, war man auch bemüht, die Höhe derselben über der Erdoberfläche zu bestimmen. Solche Höhenbestimmungen sind vielfach vorgenommen worden, sind aber wegen der Plötzlichkeit und der kurzen Dauer des Phänomens mit großen Schwierigkeiten verbunden, die eine ganz genaue Bestimmung fast unmöglich machen. Um zu brauchbaren Resultaten zu gelangen, werden von mehreren Beobachtern an verschiedenen Oertern gleichzeitig bestimmte Gegenden des Himmels beobachtet, die Flugbahnen der gesehenen Meteore auf bereitgehaltenen Sternkarten verzeichnet und zugleich in jedem Fall Farbe, Helligkeit, Zeit und Dauer des Phänomens bemerkt. Die später erfolgende Vergleichung der gemachten Beobachtungen läßt manche Sternschnuppen als identische erkennen, und die durch die Entfernung der Beobachtungsörter bewirkte Verschiebung des scheinbaren Ortes des Phänomens oder was dasselbe ist, der Winkel, den die Gesichtslinien von den Beobachtungspunkten aus an demselben gemacht haben, läßt leicht die Höhe berechnen, wenn die Entfernung jener Punkte bekannt ist. Aus solchen Beobachtungen geht mit Sicherheit hervor, daß die Höhe der Sternschnuppen eine sehr verschiedene ist und etwa zwischen 1 und etwa 30 Mln. schwankt.

Im allgemeinen ist zu bemerken, daß die Bahnen fast aller Sternschnuppen von oben nach unten gehen, sie sich also der Erde nähern; nur ganz ausnahmsweise sind aufsteigende Bahnen beobachtet worden. Prof. *Heis* in Düsseldorf, einer der fleißigsten Beobachter der Sternschnuppen, fand bei 12 als identisch erkannten Sternschnuppen des August-Phänomens 1867 die Höhe zu Anfang und zu Ende = $20\frac{1}{2}$ zu 6, 19 zu 9, 18 zu $11\frac{1}{2}$, 18 zu 11, $17\frac{1}{2}$ zu 10, 15 zu 11, 14 zu 6, 11 zu $7\frac{1}{2}$, $10\frac{1}{2}$ zu $7\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{2}$ zu 4, 6 zu 5, 4 zu 3 Mln., im Durchschnitt = $13\frac{7}{12}$ zu 7,6 Mln.

H. A. Newton dagegen fand als Resultat aus seinen Berechnungen die Höhe zu Anfang und zu Ende etwas größer, nämlich = 15,45 und 11,85 geogr. Meilen. Aehnliches fand *Förster* in Berlin, und als die größte Höhe ergaben sich dem letzteren 22 geogr. Mln.

Etwas bedeutender scheinen die Höhen beim November-Phänomen zu sein. Nach *Newcomb* resultirte aus 9 sicheren Beobachtungen die Anfangs- und Endhöhe = 16,3 und 11,9 geogr. Mln. Namentlich die helleren Sternschnuppen leuchten in größeren Höhen auf und senken sich auch weniger zur Erde herab als die schwächeren.

Ausnahmsweise sah *Denza* in Turin am 21. Aug. abends 8 Uhr eine Sternschnuppe unter den den Himmel bedeckenden Wolken in einer Höhe von nur c. 2400 Fuß. Genauere Höhenbestimmungen bleiben aber auch fernerhin noch sehr wünschenswerth.

4. **Geschwindigkeit der Sternschnuppen.** Was die Geschwindigkeiten betrifft, mit denen die Sternschnuppen in ihren Bahnen einhergehen, so hat sich ebenfalls eine ziemlich bedeutende Verschiedenheit ergeben. Als geringste Geschwindigkeit darf man etwa die der Erde in ihrer Bahn, also etwa 4 Mln. in einer Sekunde ansehen; doch will man auch Geschwindigkeiten bis über 20 Mln. in der genannten Zeit beobachtet haben. Die neusten, sorgfältigsten Beobachtungen haben als wahrscheinlichstes Resultat 6 bis 9 Mln. in 1 Sek. ergeben; doch ist auch in dieser Beziehung Genaueres noch von ferneren Beobachtungen und Berechnungen zu erwarten.

Als ein bemerkenswerther Umstand ist zu erwähnen, daß solche Sternschnuppen, die mit größerer Geschwindigkeit die Atmosphäre durchschneiden, gewöhnlich heller leuchten, einen länger dauernden, glänzenderen Schweif zurücklassen und schon in bedeutenderen Höhen verlöschen, als die sich langsamer bewegenden. Als scheinbare Länge des Weges glaubt *Newton* 12—16°, als wirkliche Länge etwa 5 geogr. Meilen in 1 Sekunde annehmen zu dürfen.

5. **Periodische und sporadische Sternschnuppen.** Man pflegt zwei Arten von Sternschnuppen zu unterscheiden: periodische und sporadische. Unter den ersteren versteht man solche, die meist in ungewöhnlicher Zahl von bestimmten Gegenden des Himmels ausgehen und zu bestimmten Zeiten in mehr oder weniger ähnlicher Weise wiederkehren; unter den letzteren solche, die vereinzelt aus den verschiedensten Gegenden des Weltraumes in unsere Atmosphäre treten.

Die periodischen Sternschnuppen zeigen außerdem die besondere Eigenschaft, daß ihre Bahnen, nach rückwärts verlängert, sich fast in demselben Punkte schneiden. Dieser Convergenzpunkt wird gewöhnlich der Strahlungspunkt, und das Ausgehen der Meteore von diesem Punkte die Radiation genannt; sie ist die wesentlichste Eigenschaft periodischer Sternschnuppen. Am sichersten bekannt und am zahlreichsten sind zwei sogenannte Ströme, der August- und der Novemberstrom, die wir etwas genauer betrachten wollen.

Der Auguststrom.

Dieser merkwürdige Strom läßt sich mit ziemlicher Sicherheit bis zum Jahre 830 n. Chr. verfolgen und ist, da er sein Maximum am 10. August zu erreichen pflegt, dieser Tag im Kalender aber den Namen *Laurentius* führt, lange als die »feurigen Thränen des heiligen Laurentius« bekannt. Die ihm angehörenden Sternschnuppen sind rückläufig, haben nach *Schiaparelli* eine relative Geschwindigkeit von 8,25, nach *A. Herschel* von 7,5 geogr. Mln., und außerdem die Eigenschaft, daß sie meist plötzlich im Momente ihres größten Glanzes aufhören. Sie bilden sicher einen geschlossenen Ring, in welchem die Meteore bereits ziemlich gleichmäßig vertheilt sind, weshalb man fast das ganze Jahr hindurch Sternschnuppen bemerkt, die diesem Strome angehören. Für diese Zugehörigkeit spricht vor allem der Umstand, daß sie stets von demselben Strahlungspunkte ausgehen. Gewöhnlich beginnt eine merkliche Zunahme mit dem 9. August, die am 10. sich zum Maximum steigert und dann wieder bis zum 12. hin allmählich abnimmt, um von nun ab sich wenig auffällig auf die übrigen Monate des Jahres zu vertheilen. Der in Rede stehende Strom ist in den letzten Jahren fleißig beobachtet worden. Im Jahre 1868 erblickte *Coulvier-Gravier* in Paris am 9. Aug. stündlich durchschnittlich 20,7, am 10ten 52,4, am 11ten 25,7, am 12ten 17,7 Sternschnuppen, im Mittel also 32,9 in der Stunde, d. i. 4,5 weniger als im Jahre 1867; doch war das Phänomen ziemlich glänzend, da am 11. August 113 Sternschnuppen als 1. bis 3. Größe sich zeigten, darunter 49 mit schönen Schweifen. Zugleich wurden zwei Feuerkugeln beobachtet, von denen indessen eine nicht zum Auguststrom zu gehören schien, da sie eine abweichende Richtung zeigte. Seit dem Jahre 1848 scheint das Phänomen stetig abzunehmen, und theoretische Gründe sprechen dafür, daß diese Abnahme auch fernerhin stattfinden und eine gleichmäßigere Vertheilung der Meteore innerhalb des Ringes eintreten werde. Schon lange ist bekannt, daß die Sternschnuppen des Auguststromes vom Sternbilde des Perseus ausgehen, weshalb sie gegenwärtig gewöhnlich die Perseiden genannt werden. Unter andern Beobachtern hat auch *Schiaparelli* diese Perseiden zum Gegenstand seiner Untersuchungen gemacht und die Lage ihrer Bahn zu bestimmen gesucht. Unter der Annahme, daß der Strahlungspunkt in $44^0 AR$ und $56^0 + D$ liege und das Maximum der Erscheinung 1866 um 6 Uhr morgens eingetreten sei, findet er für dieses Jahr folgende Elemente der Bahn:

Periheldurchgang	Juli 23,62
Knotendurchgang	Aug. 10,75
Länge des Perihels	343^0 38′
Länge des aufsteigenden Knotens .	138^0 16′
Neigung gegen die Ekliptik . . .	64^0 3′
Periheldistanz	0,9643

Bewegung retrograd.

Diese Bahnelemente zeigen eine merkwürdige Uebereinstimmung mit denen des 3ten, ziemlich bedeutenden Kometen von 1862, dessen Bahn Dr. *Th. Opolzer* in Wien berechnet hat; die Elemente derselben sind folgende:

Periheldurchgang	Aug. 22,9
Länge des Perihels	344° 41′
Länge des aufsteigenden Knotens .	137° 27′
Neigung	66° 25′
Periheldistanz	0,9626
Bewegung retrograd.	
Umlaufszeit	124,4 Jahre.

Dieser Komet kann sich der Erdbahn bis auf 0,00472 Sonnenweiten nähern, und wenn derselbe am 10. Aug. seinen Knoten passirte, so würde die Erde fast durch ihn hindurchzugehen haben.

Die Vergleichung der oben mitgetheilten Bahnelemente für die Perseiden mit denen des genannten Kometen läßt eine außerordentliche Uebereinstimmung erkennen, die gewiß mehr als zufällig ist, und sie war es, welche *Schiaparelli* dazu führte, seine S. 421 mitgetheilte Ansicht über den physischen Zusammenhang zwischen Kometen und Sternschnuppen auszusprechen, eine Ansicht, die, wie wir noch sehen werden, später eine so schöne Bestätigung gefunden hat.

Ein Element der Perseiden ist bis jetzt jedoch noch unbekannt, nämlich die Umlaufszeit derselben. Um zu einem Resultat auch in dieser Beziehung zu gelangen, hat *Schiaparelli* diejenigen ungewöhnlichen Meteorerscheinungen, welche in den Katalogen von *Biot* und *Quetelet* verzeichnet sind, und die sich als zu den Perseiden gehörig deuten lassen, zusammengestellt, und so gefunden, daß etwa alle 108 Jahre ein Maximum der Erscheinung eintrete, so daß hiernach die Umlaufszeit der Perseiden und die des Kometen von 1862 III nicht bedeutend von einander abwichen. Dies ist indessen noch nicht als ein zweifelloses Resultat zu betrachten, welches erst die Zukunft wird bringen können.

Der Novemberstrom.

Bedeutend zahlreicher und glänzender als das Augustphänomen ist das zwischen dem 13. und 14. November, welches sich in den vorhandenen Nachrichten bis über den Anfang unserer Zeitrechnung verfolgen läßt. Besonders epochemachend war in der uns näheren Zeit das von *Humboldt* und *Bonpland* beschriebene Novemberphänomen von 1799 in Cumana, das sich in ähnlicher Weise im Jahre 1833 wiederholte, so daß man darauf geführt wurde, eine Periode von 33—34 Jahren für dasselbe anzunehmen. Es schien ein dichter Feuerregen vom Himmel zu fallen, und die Zahl der in dem letztgenannten Jahre gesehenen Sternschnuppen war an vielen Orten Südamerikas außerordentlich groß, so daß alle Menschen in Bestürzung versetzt wurden. Man ging in Procession zu den Kirchen, weil man das Ende der Welt herannahen glaubte. Nach ungefähren Schätzungen sind in etwa 9 Stunden an einem Orte gegen

240000 Sternschnuppen, mit Feuerkugeln gemischt, herniedergefallen, was für die Minute 444 ergiebt! Bei der vermutheten Periodicität war man darauf gespannt, ob die Vermuthung gerechtfertigt sein und das Jahr 1866 ebenfalls einen reichen Sternschnuppenfall bringen werde. Die Erfahrung hat es in glänzender Weise bestätigt, und zwar fiel das Maximum für Mitteleuropa auf den 14. Novbr. etwa auf 2 Uhr morgens. Vergebens erwartete man im Jahre 1867 eine ähnliche Erscheinung; doch liegt die Ursache dafür ziemlich nahe. Denn da die Erde erst nach 365 Tagen und fast 6 Stunden wieder an denselben Punkt ihrer Bahn gelangt, in welchem sie im Jahre zuvor durch eine an Sternschnuppen so reiche Gegend gegangen war, erreichte sie im Jahre 1867 diesen Punkt erst gegen 8 Uhr morgens, also zu einer Zeit, in der bereits voller Tag ist. Während aber bei uns die Sonne bereits aufgegangen, ist in Amerika noch Nacht, und man vermuthete daher, daß in diesem Erdtheil sich die Erscheinung glänzender zeigen werde. Dies ist denn auch eingetroffen, und von verschiedenen Theilen der Vereinigten Staaten liegen interessante Berichte vor. Es wurden von den Professoren *Newcomb* und *Harkness* in Washington und Richmond zur Zeit des Maximums ungefähr 3000 Meteore in der Stunde beobachtet, die fast sämtlich von dem Sternbilde des großen Löwen ausstrahlten, und von denen sehr viele glänzende Schweife zurückließen, von welchen einer 4 Minuten lang sichtbar blieb. Gewöhnlich war die erste Farbe grün, die dann allmählich in roth und zuletzt in braun überging. Die hellsten Meteoriten leuchteten meist in der größten Höhe auf und verschwanden auch in ziemlich bedeutenden Höhen. *Newcomb* ist geneigt anzunehmen, daß, da die Dauer des ganzen Schauers etwa 3 Stunden beträgt, in 1 Sekunde in der ganzen Breite des Stromes etwa 1 mill. Sternschnuppen an der Erde vorüberziehen, und daß, da fast 3 Jahre hintereinander ähnlich reiche Ströme beobachtet worden, die Gesamtzahl der Meteore des Novemberschwarmes nach einer rohen Schätzung etwa hundert Billionen betragen möge.

Wider Erwarten brachte uns in Europa das Jahr 1868 reichen Sternschnuppenfall; denn man hatte vermuthet, die Oerter, in denen sie gesehen werden könnten, würden, wie 1867 von Europa nach Amerika, noch weiter westlich vorschreiten. Von den meisten Ländern Europas werden reiche und glänzende Fälle berichtet, die meist vom Löwen ausstrahlten. Die Zahl der Meteore nahm gegen Morgen hin beständig zu, so daß es wahrscheinlich ist, daß das Maximum für 1868 in Europa gar nicht zur Beobachtung gekommen ist; wo dasselbe eigentlich stattgefunden, ob in Amerika oder gar Australien, darüber werden spätere Mittheilungen noch entscheiden. In Madrid wurden, um nur einige Angaben mitzutheilen, zwischen 5 und $5^1/_2$ Uhr in jeder Minute etwa 20 gesehen, und in Rom zwischen $2^1/_2$ und $5^3/_4$ Uhr von drei Beobachtern 2204 Sternschnuppen gezählt. *Secchi* glückte es, zwei große Sternschnuppen im Spektroscope zu untersuchen; außer der sehr deutlichen Magnesium-Linie sah er noch Linien im Roth. Von verschiedenen Seiten wird ferner von herr-

lichen Feuerkugeln berichtet, die lang andauernde Schweife zurückließen, und deren eine sich in ein 15 Minuten lang sichtbares Gewölk auflöste.

Man ist hiernach gewiß berechtigt, Sternschnuppen und Feuerkugeln als aus derselben Quelle stammend anzusehen und zwischen ihnen nur einen Größenunterschied anzunehmen.

Schon oben ist wiederholt angedeutet, daß der Strahlungspunkt des Novemberschwarmes im großen Löwen liege. *Schiaparelli*, der auch die Bahn dieses Stromes mit Benutzung der Beobachtungen *A. Herschels* und *Newtons* bestimmt hat, setzt den Radiationspunkt in 143° 12′ Länge und 10° 16′ nördl. Breite, also in die Nähe des Sternes γ Leonis. Als Bahnelemente aber findet er:

Periheldurchgang	Novbr. 10,092 mittl. Mail. Zeit.
Länge des Perihels	56° 25′ 9″
Länge des aufsteigenden Knotens	231° 28′ 2″
Neigung	17° 44′ 5″
Periheldistanz	0,9873
Excentricität	0,9046
Halbe große Achse	10,340
Umlaufszeit	33,250 Jahre.

Bewegung retrograd.

Hiernach bildet also auch der Novemberschwarm einen geschlossenen elliptischen Ring, dessen aufsteigenden Knoten die Erde zwischen dem 13. und 14. Novbr. passirt, in welchem jedoch die Meteore weniger gleichmäßig vertheilt sind, als in dem des Auguststromes. Denn da das Phänomen drei Jahre nach einander beobachtet wird, so müssen die Meteore in einem Theile des Ringes, vielleicht im 10. bis 15. Theil seiner ganzen Ausdehnung, ungewöhnlich angehäuft sein, so daß dieser mit Körperchen reich besetzte Theil etwa drei Jahre gebraucht, um durch die Erdbahn zu gehen. Dieser Durchschnittspunkt der Bahn des Novemberstroms mit der Ekliptik, d. i. der aufsteigende Knoten der Bahn, ändert jedoch infolge der Anziehung der Erde seine Lage und schreitet jährlich direkt, d. i. von W. nach O., 0′,874 vor, entfernt sich also von dem Frühlingspunkt, da dieser jährlich 0′,837 zurückweicht, jährlich um 1′,711, so daß der Tag des Maximums sich in etwa 70 Jahren um 1 Tag verspätet. Noch müssen wir hier erwähnen, daß die Sternschnuppen des Novemberschwarms im allgemeinen eine größere Geschwindigkeit haben, in größeren Höhen aufleuchten und verschwinden, glänzendere und länger sichtbare Schweife haben als die des Auguststroms.

Das Bemühen *Schiaparelli's*, auch für den Novemberstrom einen zugehörenden Kometen zu finden, schien anfangs vergeblich; allein ein glücklicher Zufall kam ihm zur Hilfe. Denn *C. F. W. Peters* in Altona machte darauf aufmerksam, daß es auch dem Novemberstrom nicht an einem Führer fehle, indem der von *Tempel* entdeckte Komet von 1866 I. nach *Th. Opolzers* Berechnung Elemente habe, die denen des Novemberstromes ganz ähnlich seien. Die Elemente des besagten Kometen sind nämlich:

Periheldurchgang	Januar 11,160 mittl. Mail. Zeit.
Länge des Perihels	60° 28′
Länge des aufsteigenden Knotens	231° 26′ 1″
Neigung	17° 18′ 1″
Periheldistanz	0,9705
Excentricität	0,9054
Halbe große Achse	10,324
Umlaufszeit	33,176 Jahre.

Bewegung retrograd.

Vergleicht man diese Elemente mit denen des Novemberstroms, so ist eine solche Uebereinstimmung vorhanden, daß auch hier an einem Zusammenhang beider Phänomene wohl nicht gezweifelt werden kann.

Wie schon oben ausgesprochen worden ist, sind in demjenigen Theile des Novemberstroms, der alle 33 Jahre im November durch die Erdbahn geht, die Meteore ungewöhnlich, wolkenähnlich angehäuft, während die anderen Theile des Ringes nur spärlich damit besetzt sind, weshalb in den Zwischenzeiten des Maximums nur wenig Sternschnuppen gesehen werden. Indessen fehlt es auch in diesen Zwischenzeiten nicht an reicheren Schwärmen, die zahlreich genug sind, um Aufmerksamkeit zu erregen, was etwa alle 5 bis 6 Jahre einzutreten pflegt. Aber nur die von der bezeichneten Stelle des Löwen ausgehenden Meteore dürfen als dem November-Phänomen zugehörig angesehen werden.

Andere vermuthete Sternschnuppenströme.

Auch noch zu andern Zeiten als an den genannten Tagen des August und November pflegen ungewöhnlich reiche Sternschnuppenfälle beobachtet zu werden; die wichtigsten derselben scheinen stattzufinden: Jan. 15 — 19., Febr. 18—20, März 1—4, April 19—20, Octbr. 16—18, December 6—8. Von diesen vermutheten Perioden sind besonders die im April und im Anfang December beachtenswerth, weil man für dieselben den zugehörenden Kometen gefunden zu haben glaubt.

Zu dem April-Phänomen scheint der Komet von 1861 I. zu gehören, den *Th. Opolzer* beobachtet und berechnet hat, und der sich fast im Zustande der Auflösung befand; denn der Beobachter sagt: »Die Verbindung zwischen Schweif und Coma war so schmal und schwach leuchtend, daß es das Aussehen gewann, als ob sich der Schweif vom Kopf trennen wollte«. Als Radiationspunkt für den Aprilschwarm hat sich als Mittel aus verschiedenen Beobachtungen $AR = 278°,7$, $+ D = 35°$, für den Kometen nach Dr. *Weiss* Berechnung $AR = 270°,4$, $+ D = 33°,5$ ergeben. Man sieht, daß die Uebereinstimmung hier nicht so groß ist, wie bei dem August- und Novemberstrom und den denselben zugehörenden Kometen; denn für die Rectascension besteht eine Differenz von 7°. Allein bei der Schwierigkeit einer genauen Bestimmung des Radiationspunktes von Sternschnuppen ist die bestehende

Differenz nicht zu groß, um nicht wenigstens einen Zusammenhang vermuthen zu lassen. Es ist auch möglich, daß der Komet von 1861 I. sich früher schon getheilt hat und nun der abgezweigte, aber uns unbekannte Komet in einer ähnlichen Bahn neben dem uns bekannten einherläuft. Bestätigen fernere Beobachtungen den vermutheten Zusammenhang zwischen dem Aprilschwarm und dem genannten Kometen, so hätten wir ein Beispiel von Rechtläufigkeit beider Phänomene.

Aehnliche Verhältnisse bestehen für den Schwarm zwischen dem 6—8. Decbr., der besonders glänzend war 1798 und 1838. Prof. *Heis* fand für die Position des Radiationspunktes aus den Beobachtungen von 1847 $AR = 25^{0}$, $+ D = 40^{0}$. Für den *Biela*schen Kometen ergab die Rechnung bei seinem Erscheinen 1852 $AR = 23^{0},4$, $+ D = 43^{0}$. Der Grad der Uebereinstimmung läßt wenig zu wünschen übrig, namentlich wenn man die Differenz der Berechnungszeit und den Umstand erwägt, daß die Knoten des rechtläufigen Kometen sich infolge der Erdanziehung rasch rückwärts bewegen, also die Rectascension dadurch vermindert wird. Außerdem ist bemerkenswerth, daß 1798 und 1838 gerade um 6 Umlaufszeiten des *Biela*schen Kometen von einander abstehen. Ein ähnlicher Unterschied besteht aber auch, wie *d'Arrest* bemerkt, bei dem Kometen von 1818 I, dessen Bahnelemente sich denen des *Biela*schen ungemein ähnlich zeigten, der aber wegen der abweichenden Epoche des Periheldurchgangs der *Biela*sche nicht sein kann. »Giebt man ihm die Umlaufszeit des letzteren«, sagt *Littrow*, »so fallen zwei ebenfalls um 6 Umlaufszeiten von einander entfernte Perihelpassagen auf 1798,2 und 1838,2. Sollte dies ein bloßes Spiel des Zufalls sein? Oder ist es nicht wahrscheinlicher, daß außer dem *Biela*schen Kometen noch ein anderer, der sich früher einmal von ihm abgetrennt, in derselben Bahn einhergeht und sich an diesen ein sehr dichter Theil des Meteorringes anschließt, ähnlich wie dies bei dem Kometen 1862 III. und 1866 I. der Fall ist, deren Durchgang durch den niedersteigenden Knoten ihrer Bahn ebenfalls die reichen Sternschnuppenfälle in den Jahren 1863 und 1866 nach sich zog?«

Auf die übrigen vermutheten Perioden näher einzugehen unterlassen wir, da noch keine sicheren Resultate vorliegen, die erst von der Zukunft erwartet werden müssen.

6. **Von den Feuerkugeln und Meteorsteinen.** Ehe wir zu einer eigentlichen Erklärung der Sternschnuppen-Phänomene übergehen, müssen wir zuvor noch von den Feuerkugeln reden, welche mit jenen Phänomenen unzweifelhaft in Verbindung stehen, da sie wiederholt bei bedeutenden Sternschnuppenfällen beobachtet worden sind; auch hat man bei ihnen bereits, wie bei den Sternschnuppen, in bestimmten Bahnen einhergehende Feuerkugelschwärme aufgefunden.

Wahrscheinlich sind Sternschnuppen und Feuerkugeln Körper derselben Art, die nur hinsichtlich der körperlichen Masse und infolge dessen der geringeren oder größeren Lichtentwicklung verschieden sind. Sternschnuppen werden dann

Feuerkugeln genannt, wenn sie von ungewöhnlicher Größe sind, mehr oder weniger deutlich als kugelförmig zusammengeballte Massen sich darstellen und selbst bei Tage sichtbar werden können, was von keiner Sternschnuppe gilt. Außerdem fehlt keiner Feuerkugel ein längere Zeit hindurch sichtbarer Schweif; viele derselben erlöschen*) zuletzt mit mehr oder weniger lauten Detonationen und sind die Veranlassung sogenannter Steinregen. Selten beobachtet man bei Tage das erste Auftreten einer Feuerkugel; sie ist vielmehr gewöhnlich plötzlich da, zieht mehr oder weniger glänzend, scheinbar mit nicht sehr großer Geschwindigkeit dahin und löst sich entweder geräuschlos, oder mit heftigem Getöse auf. Hat man das Glück, das erste Auftreten zu beobachten, so erblickt man zuerst einen leuchtenden Punkt, der sich mehr und mehr vergrößert, oder ein leuchtendes Wölkchen, aus welchem später ein feuriger, kugel- oder birnförmiger Körper hervorgeht, der in den verschiedenst gestalteten Bahnen dahineilt, in der angegebenen Weise verschwindet und meist eine längere Zeit hindurch sichtbare Spur seines Laufes zurückläßt. Manche Feuerkugeln wachsen zu Größen an, deren scheinbarer Durchmesser fast dem des Mondes gleichkommt. Im einzelnen aber bieten verschiedene derartige Phänomene eine solche Mannigfaltigkeit der Erscheinung, daß wir darauf verzichten müssen, näher darauf einzugehen**). Doch müssen wir noch einiges über die Steinmassen mittheilen, welche erwiesenermaßen aus Feuerkugeln zur Erde herniedergefallen sind; solche Massen pflegen Meteorsteine, Aërolithen oder Meteoriten genannt zu werden. Man hat lange an sogenannte Steinregen nicht glauben wollen, bis endlich *Biot* einen solchen, den, der sich am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne ereignete, in allen Einzelheiten untersucht und beschrieben hat. *Humboldt* beschreibt in seinem Kosmos, Bd. 3, das Phänomen folgendermaßen: »Eine große Feuerkugel, die sich von S.O. nach N.W. bewegte, wurde um 1 Uhr Nachmittags in Alençon, Falaise und Caen bei ganz heiterem Himmel gesehen. Einige Augenblicke darauf hörte man bei Aigle in einem kleinen, dunklen, fast unbewegten Wölkchen eine 5 bis 6 Minuten dauernde Explosion, welcher 3 bis 4 Kanonenschläge und ein Getöse wie von kleinem Gewehrfeuer und vielen Trommeln folgte. Bei jeder Explosion entfernten sich einige von den Dämpfen, aus denen das Wölkchen bestand. Keine Lichterscheinung war hier bemerkbar. Es fielen zugleich auf eine elliptische Bodenfläche, deren große Achse von S.O. nach N.W. 1,2 Mln. hatte, viele Meteorsteine, von welchen der größte $17^1/_2$ Pfd. wog. Sie waren heiß, aber nicht rothglühend, dampften sichtbar und, was sehr auffallend ist, sie waren in den ersten Tagen nach dem Falle leichter zersprengbar als nachher.«

Nach einem so zuverlässig constatirten Fall ist aller Zweifel an Meteor-

*) Ein Zerspringen von innen heraus als Ursache der Detonationen anzunehmen, scheint man nach genaueren Beobachtungen in der neusten Zeit nicht berechtigt.

**) Sehr ausführliches Material findet man in Dr. *Otto Buchners* Schrift: „Die Feuermeteore, insbesondere die Meteoriten historisch und naturwissenschaftlich betrachtet.“ Gießen. 1859.

steinfällen verschwunden, und die neuere und neuste Zeit hat eine bedeutende Zahl nicht minder beglaubigter Fälle gebracht.

Was zunächst die Größe der gefallenen Meteorsteine betrifft, so ist dieselbe außerordentlich verschieden und wechselt im Gewichte von wenigen Grammen bis über 100 Centner; namentlich beachtenswerth ist die Meteor-Eisenmasse, welche *Pallas* 1749 in Sibirien entdeckte, ursprünglich ein Gewicht von 1600 russischen Pfunden hatte, und deren Rest, 1270 Pfund, sich gegenwärtig in den Petersburger Sammlungen befindet. Eine ähnliche Masse von 3300 Pfunden wurde 1805 bei Trier gefunden, ist aber leider nicht conservirt, sondern größtentheils in einer benachbarten Eisenhütte eingeschmolzen worden. Noch beträchtlicher war die Masse Meteoreisens, die man 1784 in Brasilien entdeckte, und deren Gewicht auf 163 Centner geschätzt wurde. Ist auch das Herabfallen dieser Eisenmassen nicht direkt beobachtet worden, so ist doch an ihrem kosmischen Ursprung nicht zu zweifeln; denn im Jahre 1751 hat man in Agram ein 71 Pfund schweres, ähnlich zusammengesetztes Stück wirklich vom Himmel fallen sehen.

Es müssen zwei Hauptarten von Meteorsteinen unterschieden werden, nämlich eigentliche Steinmassen, die, wie die Gesteine der Erde, aus verschiedenen Mineralien zusammengesetzt sind, oder Massen, die größtentheils aus gediegenem Eisen bestehen; doch sind auch Uebergänge zwischen beiden Formen vorhanden, und fast keinem Meteorstein fehlt Eisen.

Bei der chemischen Untersuchung hat man in den eigentlichen Steinen vornehmlich: Augit, Anorthit, Magnetkies, Chromeisen, Olivin, Quarz und einige andere Stoffe gefunden; die Meteoreisenmassen dagegen bestehen oft ganz aus gediegenem Eisen; doch sind darin noch gediegenes Nickel, das auf der Erde nie rein vorkommt, ferner Kobalt, Kupfer, Zinn, Mangan etc. nachgewiesen worden. Dies sind alles Stoffe, welche die Erde auch besitzt, wenn auch in andern chemischen Verbindungen, und es wird hierdurch wahrscheinlich, daß die Himmelskörper im allgemeinen aus denselben Elementen bestehen, was auch die Spektralanalyse zu bestätigen scheint.

Polirt man eine Meteoreisenmasse und benetzt dann die Flächen mit Säuren, so zeigen sich gröbere und feinere Streifen und hellere und dunklere Stellen, so daß die Flächen ein netzartiges Ansehen bekommen. Diese eigenthümliche Zeichnung pflegt man nach dem Entdecker die *Widmanstätten*schen Figuren zu nennen, an welchen Meteoreisen leicht erkannt werden kann. Das mehr oder weniger schwarze Ansehen scheint die Wirkung einer großen Hitze zu sein, der die Masse ausgesetzt gewesen ist. Diese Wirkung erstreckt sich aber nur auf die oberste, kaum einige Zehntel-Linien dicke Schicht.

7. **Erklärung der Phänomene.** Nach der bisherigen Ansicht sah man in den Sternschnuppen kleine Körper, die entweder in ganzen Schwärmen, zu elliptischen Ringen angeordnet und dann in bestimmten, berechenbaren Bahnen, oder aber vereinzelt nach den verschiedensten Richtungen mit den Planeten und Kometen gemeinsam um die Sonne wanderten und dann sichtbar würden,

wenn ihnen die Erde auf ihrem Laufe um die Sonne begegnete und sie durch ihre Anziehung zwänge, die Atmosphäre zu durchschneiden, wobei sie durch den hier erfahrenen Widerstand leuchtend würden. Die in ganzen Schwärmen dahinziehenden gäben die periodischen, die vereinzelt gehenden die sporadischen Sternschnuppen. In dem Grundgedanken stimmt diese kurz angedeutete Ansicht auch noch mit der gegenwärtig herrschenden überein; doch haben die Beobachtungen und Entdeckungen der neusten Zeit die Vorstellung von dem in Rede stehenden Phänomene in manchen Beziehungen nicht unwesentlich modificirt. Vor allem ist die schon oben S. 421 besprochene Hypothese *Schiaparelli's*, nach welcher Kometen und Sternschnuppen denselben Ursprung aus kosmischen Wolken haben, welche in die Anziehungssphäre der Sonne gerathen, und so entweder bleibend, oder vorübergehend Glieder des Sonnensystems geworden sind, besonders aber, daß sie den Bahnen bestimmter Kometen nachziehen, für die Betrachtungsweise wichtig geworden. Nach *Schiaparelli* sind, wie wir uns erinnern, Kometen größere, zu kugelförmigen Massen geballte, Sternschnuppen dagegen kleinere, den Kometen folgende oder neben ihnen hergehende Theile kosmischer Wolken, oder aber von den Kometen bei ihrem Durchgange durch das Perihel losgelöste feste Körperchen, von denen die kleinsten, durch den Widerstand in der Atmosphäre entzündet, die Sternschnuppen, größere die Feuerkugeln bilden. In einer Beziehung ist dieser Ansicht von *Weiss* in Wien widersprochen worden, indem er den Ursprung der Sternschnuppen aus jenen kosmischen Wolken darum für unwahrscheinlich hält, weil wegen der geringen Massen, aus welchen, wie wir noch sehen werden, die Sternschnuppen bestehen, jene Wolken der zerstreuenden Wirkung selbst sehr ferner Fixsterne nicht würden widerstehen können; es seien vielmehr nur die Kometen als die Ursache der Sternschnuppen zu betrachten. Jedenfalls bleibt als Thatsache bestehen, daß Sternschnuppen, wenigstens die periodischen, in Bahnen einherziehen, die mit denen bestimmter Kometen fast genau übereinstimmen, wie wir bereits an dem August- und dem Novemberstrom nachgewiesen haben, und was höchst wahrscheinlich auch noch bei andern periodischen Schwärmen der Fall ist. Man glaubt daher jetzt annehmen zu dürfen, daß, wo Kometen wandeln, auch Sternschnuppenströme ziehen, und umgekehrt, wo die letzteren sich zeigen, auch zugehörende Kometen vorhanden sein werden. Da uns aber selbstverständlich Sternschnuppen nur dann sichtbar werden können, wenn sie durch die Erdbahn gehen, weil sie nur dann der Erde begegnen können, so ist man gegenwärtig bemüht, einerseits diejenigen Kometen aufzufinden, welche die Erdbahn durchschneiden, und für sie die Radiationspunkte zu bestimmen, andrerseits aber die Lage der Sternschnuppenbahnen, vor allem ihren Radiationspunkt festzustellen, damit man durch Sternschnuppenströme auf Kometen, und umgekehrt durch Kometen auf Sternschnuppenströme geführt werde. Die Untersuchungen von *Weiss* haben bereits das interessante Resultat ergeben, daß die Zahl der die Erdbahn durchschneidenden oder ihr doch sehr nahe kommenden Kometenbahnen nicht

gering ist. In dem »Kalender für alle Stände, 1869, herausgegeben von *Karl v. Littrow*, Wien« hat er bereits 28 Kometen bezeichnet, welche die oben angegebene Eigenschaft besitzen. Ebendaselbst ist auch ein Verzeichnis von 56 Radiationspunkten veröffentlicht, welches *Greg* in Manchester aus Sternschnuppen-Beobachtungen in den Jahren 1845 bis 1863 gewonnen hat. Bei dem regen Interesse, welches jetzt den Kometen und Sternschnuppen von so vielen Seiten zugewendet ist, werden fernere interessante Resultate nicht ausbleiben.

Wie früher betrachtet man auch gegenwärtig noch die in dichteren Scharen in bestimmten Bahnen mit bestimmten Radiationspunkten einherziehenden Körperchen als die Ursache der periodischen Sternschnuppen, während die durch die störende Wirkung der Planeten von ihren ursprünglichen Bahnen mehr oder weniger abgelenkten als die sporadischen bildend angesehen werden. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß manche jetzt noch als sporadisch angesehene Sternschnuppen sich durch Auffindung eines zugehörenden Kometen als periodische erweisen werden; ein solcher Komet wird dann aber ebenfalls als ein periodischer angesehen werden müssen, wenn selbst seine Wiederkehr noch nicht beobachtet worden ist.

Was das Leuchtendwerden der Sternschnuppen betrifft, so ist leicht einzusehen, daß dasselbe bei Geschwindigkeiten, welche wenigstens der der Erde gleich sind, gewöhnlich sie aber um das Doppelte und mehr noch übertreffen, selbst in den dünnsten Regionen unserer Atmosphäre erfolgen muß. Die durch den Widerstand der Luft verminderte Geschwindigkeit setzt sich nämlich in Wärme um, die Licht zu entwickeln im stande ist, und diese Wärme- und Lichtentwicklung ist um so bedeutender, je schneller die Bewegung ist. Die Erfahrung bestätigt dies; denn die im allgemeinen mit der größten Geschwindigkeit in die Atmosphäre eintretenden Sternschnuppen des Novemberstroms leuchten meist heller, beginnen auch bereits in größeren Höhen aufzuleuchten und verschwinden in größeren Höhen, als langsamer einherziehende; ihre Masse wird bei dem lebhafteren Verbrennungsprozeß schneller verzehrt als bei den letzteren. Daß größere Massen mehr Licht entwickeln und die von ihnen funkenartig losgelösten glühenden Theile längere Zeit in den von ihnen gebildeten Schweifen leuchten, ist leicht begreiflich. Auch bei den kleineren Feuerkugeln, die ohne Detonationen erlöschen, wird wahrscheinlich die ganze Masse verbrannt und in Gase und Dämpfe aufgelöst. Von den größeren fallen die Theile als Meteorsteine oder Aërolithen zur Erde herab. Daß dieselben hohen Hitzegraden ausgesetzt gewesen sind, dafür spricht die Beschaffenheit ihrer Oberfläche. Die größten Massen, wie sie namentlich in den mächtigen Meteoreisenmassen vorliegen, haben ihre so merkwürdige Struktur wohl nicht erst in unserer Atmosphäre erhalten, sondern sind in uns unbekannten Räumen unter uns unbekannten Verhältnissen entstanden. Höchst wahrscheinlich sind sie einmal einem Schmelzungsprozeß unterworfen gewesen; denn es ist *Daubrée* im Jahre 1866 nach vielfachen Schmelzversuchen mit den

die Meteorsteine zusammensetzenden Stoffen gelungen, Massen herzustellen, die den Meteorsteinen täuschend ähnlich sehen.

Auf die Farbe, welche die Sternschnuppen zeigen, scheinen verschiedene Verhältnisse von Einfluß zu sein. Zunächst wirkt wohl die Geschwindigkeit bestimmend ein, weil von ihr die Lebhaftigkeit des Verbrennungsprozesses abhängig ist. Auch der Zustand der irdischen Atmosphäre, namentlich in Beziehung auf Wasserdampfgehalt und den Grad seiner Verdichtung kann modificirend wirken; ferner kann das Mondlicht die Farbe beeinflussen. Den größten Einfluß auf dieselbe dürfte aber die chemische Zusammensetzung der die Sternschnuppen erzeugenden Körperchen ausüben; haben doch auch verschiedene Kometen ein verschiedenes Spektrum ergeben, was für Verschiedenheit ihrer körperlichen Bestandtheile spricht. Es ist wünschenswerth, auf dieses Moment bei ferneren Beobachtungen zu achten.

Interessant sind noch die Versuche, aus dem Lichte, das Sternschnuppen entwickeln, zu einer Massenbestimmung derselben zu gelangen. Nimmt man nämlich an, daß das von einer Sternschnuppe durch Verbrennung ihrer Masse erzeugte Licht in gleichem Verhältnis mit dieser Masse steht, so läßt sich diese letztere schätzen, indem man jenes Licht mit dem einer irdischen Flamme und dem dabei verbrauchten Stoffe vergleicht. Man hat dazu die Intensität des Lichtes der Sternschnuppe zu bestimmen und die Entfernung der letzteren vom Beobachter zu berücksichtigen. Unter dieser Annahme hat *A. Herschel* folgende Resultate gefunden:

Glanz wie:	Anzahl der beobachteten Meteore.	Mittleres Gewicht.
Venus	2	1953 Grammes
Jupiter	2	2996 »
Sirius	7	358 »
Wega	1	29 »
Ataïr	3	10 »
α Perseus (2. Gr.)	4	6 »
Cor Caroli (3. Gr.)	1	6 »

Dies sind unbedeutende Massen; denn da 500 Grammes gleich einem Neupfunde, so betragen die obigen 2996 nur 5,99 Pfund, und 6 Grammes gar nur 6/10 Quentchen Neugewicht. Zu noch unbedeutenderen Größen sind *Newcomb* und *Harkness* gelangt, und *Schiaparelli* ist geneigt, als Durchschnittsgewicht einer Sternschnuppe 1 Gramm anzunehmen. Ist die oben gemachte Voraussetzung auch nicht ganz richtig, und sind auch die von der Sternschnuppe losgelösten, im Schweife leuchtenden Theile nicht mit berücksichtigt worden, so scheint doch angenommen werden zu dürfen, daß die Sternschnuppen im ganzen unbedeutende Körper sind. Da nun die Kometen wahrscheinlich aus ähnlichen Körperchen bestehen, so werden wir von einem Zusammenstoß mit einem solchen Himmelskörper wohl wenig zu besorgen haben, und dürfte uns hauptsächlich nur der Anblick eines großartigen Feuerwerks bereitet werden, wenn gleich die größeren Theile als dicht fallende Meteorsteine gefährlich werden

könnten. Die jetzt oft so reichen Sternschnuppenfälle werden übrigens mit der Zeit an Großartigkeit verlieren, einmal, da sie in so großen Mengen zerstört werden, sodann, da die störende Wirkung der Planeten sie gleichmäßiger in ihren Bahnen vertheilen wird; doch ist es auch möglich, daß durch dieselbe Wirkung die Bahnen anderer so geändert werden, daß sie uns für die vernichteten und zerstreuten Ersatz bieten.

Hinsichtlich der Feuerkugeln haben sich die Ansichten in der neusten Zeit in mancher Beziehung geändert, da mehrere merkwürdige Steinfälle zu genauerer Beobachtung Veranlassung gegeben haben; namentlich haben Herr *v. Haidinger*, Direktor *Galle* und Herr *vom Rath* übereinstimmende Resultate gefunden. Der erstere Beobachter faßt seine Theorie in folgende Sätze zusammen:

1) Ein Bruchstück oder eine Gruppe von Bruchstücken trifft in ihrer Bahn die Atmosphäre der Erde.

2) Die kosmische Geschwindigkeit der Bruchstücke trifft in der Atmosphäre einen Widerstand, der sie hemmt.

3) Während der Zeit, daß die Geschwindigkeit infolge dieses Widerstandes abnimmt, wird durch das Zusammendrücken der Luft Licht und Wärme entwickelt; der Meteorit rotirt und erhält eine Schmelzrinde.

4) Die durch Pressung vor dem seine kosmische Geschwindigkeit verlierenden Meteoriten erzeugte heiße Luftschicht fließt nach allen Seiten ab und ballt sich hinter demselben zu einer Feuerkugel zusammen.

5) Der Stillstand des Meteors ist das Ende seiner kosmischen Bahn.

6) Licht- und Wärmeentwicklung erlischt hier; der leere Raum im Innern der Feuerkugel wird plötzlich unter gewaltiger Schallerschütterung ausgefüllt.

7) Der innere kalte Kern des Meteors (es kommt ja aus dem kalten Weltenraum) gleicht sich mit der Hitze der äußeren Rinde aus.

8) Der Meteorit fällt als der Erde angehöriger schwerer Körper zur Erde nieder, und zwar um desto wärmer, aus je besser die Wärme leitendem Material er besteht.

Diese Sätze werden einer besonderen Erläuterung nicht bedürfen. Durch die gegebene Erklärung ist das bisher angenommene Zerspringen des Meteors von innen heraus beseitigt. Dagegen spricht namentlich der Umstand, daß alle gleichzeitig niederfallenden Körper eine rings herum gehende schwarze Schmelzrinde haben, was nicht der Fall sein könnte, wenn sie Bruchstücke eines größeren Körpers wären. Kleine Beschädigungen jener Rinde, die zuweilen beobachtet worden sind, erklären sich einfach durch die Reibung, die dicht fallende Massen auf einander ausüben.

Tabellarische Uebersicht

über die wichtigsten Elemente des ganzen Sonnensystems.

Namen der Planeten.	Scheinbarer Durchmesser			Wahrer Durchmesser in	Volumen	Masse		Dichtigkeit		Fall an d. Oberfläche des Planeten in der 1. Sekunde.
	mittlerer.	größter.	kleinster.	geogr. Meilen.	die Erde = 1.	die Erde = 1.	d. Sonne = 1.	die Erde = 1.	d. Wasser = 1.	
	"	"	"							Par. Fuß.
1. Merkur	6,7	12,9	4,5	67	0,06	0,08	$\frac{1}{4316550}$	1,403	7,97	8,2
2. Venus	17,1	65,2	9,5	1666	0,91	0,86	$\frac{1}{412150}$	0,956	5,43	13,9
3. Erde				1719	1,00	1,00	$\frac{1}{354020}$	1,000	5,68	15,1
4. Mars	6,0	25,6	3,5	938	0,16	0,12	$\frac{1}{2994800}$	0,737	4,19	6,1
5. Jupiter	38,4	50,7	30,8	20004	1469,8	338	$\frac{1}{1047,9}$	0,232	1,32	34,6
6. Saturn	17,1	21,5	15,5	17214	905,9	101	$\frac{1}{3501,6}$	0,112	0,64	12,6
7. Uranus	4,3	4,7	3,9	8226	98,9	17	$\frac{1}{20900}$	0,173	0,98	11,3?
8. Neptun	2,6	2,7	2,4	7653	88,3	18	$\frac{1}{20000}$	0,203	1,15	13,7?
Sonne	1921,8	1956,5	1891,2	193030	1409725	354020	1	0,254	1,44	429,9

Tabellarische

über die wichtigsten Elemente

Namen der Planeten.	Entfernung von der Sonne in Halbmessern der Erdbahn, mittlere.	in Millionen geogr. Meilen, mittlere.	größte.	kleinste.	Excentricität der Bahn.
1. Merkur	0,38709	8,00	9,65	6,36	0,20560
2. Venus	0,72333	14,96	15,06	14,86	0,00684
3. Erde	1,00000	20,682	21,03	20,33	0,01677
4. Mars	1,52369	31,51	34,45	28,57	0,09326
5. Flora	2,20138	45,53	52,67	38,39	0,15670
6. Ariadne	2,20336	45,57	53,21	37,93	0,16759
7. Feronia	2,26538	46,85	52,45	41,26	0,11949
8. Harmonia	2,26772	46,90	49,07	44,73	0,04631
9. Melpomene	2,29564	47,47	57,81	37,14	0,21767
10. Sappho	2,29629	47,49	57,00	37,98	0,20025
11. Victoria	2,33421	48,28	58,85	37,71	0,21892
12. Euterpe	2,34634	48,52	56,95	40,10	0,17362
13. Vesta	2,36161	48,84	53,20	44,49	0,08908
14. Clio	2,36182	48,84	60,38	37,31	0,23615
15. Urania	2,36541	48,92	55,17	42,68	0,12761
16. Nemausa	2,36549	48,92	52,19	45,66	0,06667
17. Artemis	2,37994	49,22	57,89	40,55	0,17619
18. Iris	2,38623	49,35	60,74	37,96	0,23083
19. Metis	2,38663	49,36	55,43	43,29	0,12287
20. Echo	2,39309	49,49	58,64	40,35	0,18473
21. Ausonia	2,39378	49,50	55,68	43,33	0,12472
22. Phocäa	2,39998	49,63	62,28	36,99	0,25479
23. Massalia	2,40891	49,82	57,01	42,63	0,14429
24. Asia	2,42028	50,05	59,31	40,80	0,18484
25. Nysa	2,42339	50,12	57,66	42,58	0,15037
26. Hebe	2,42463	50,14	60,32	39,97	0,20288
27. Lutetia	2,43544	50,37	58,53	42,21	0,16205
28. Beatrix	2,43724	50,41	54,74	46,08	0,08593
29. Isis	2,44004	50,46	61,85	39,08	0,22561
30. Fortuna	2,44157	50,51	58,44	42,58	0,15723
31. Eurynome	2,44368	50,54	60,41	40,68	0,19518
32. Parthenope	2,45241	50,72	55,74	45,70	0,09901
33. Thetis	2,47328	51,15	57,68	44,62	0,12764
34. Aegina	2,49125	51,53	54,93	48,13	0,06594
35. Hestia	2,52615	52,24	60,85	43,64	0,16466
36. Julia	2,54983	52,73	62,24	43,22	0,18030
37. Amphitrite	2,55366	52,81	56,71	48,92	0,07378
38. Helena	2,57312	53,22	60,63	45,79	0,13940
39. Egeria	2,57604	53,28	57,94	48,62	0,08750
40. Asträa	2,57821	53,32	63,26	43,39	0,18631
41. Pomona	2,58680	53,50	57,91	49,09	0,08244
42. Irene	2,58951	53,56	62,41	44,71	0,16524
43. Melete	2,59711	53,71	66,45	40,98	0,23704
44. Panopäa	2,61291	54,04	63,93	44,15	0,18301
45. Calypso	2,62096	54,21	65,26	43,16	0,20382
46. Diana	2,62632	54,31	65,54	43,09	0,20668
47. Thalia	2,62822	54,36	66,98	41,74	0,23218

Uebersicht

des ganzen Sonnensystems.

Neigung der Bahn.			Zeit der siderischen Revolution in						Mittl. Bewegung in 1 Zeitsekunde.
			mittl. Sonnentagen.	Jahren,	Tag.,	Stdn.,	Min.,	Sek.	
°	′	″							g. Mln.
7	0	7,7	87,96926	—	87	23	15	44	6,62
3	23	34,8	224,70079	—	224	16	49	8	4,84
0	0	0	365,25636	1	—	6	9	10	4,12
1	58	2,3	686,97979	1	321	17	30	53	3,34
5	53	8	1193,01	3	97	6	—	—	2,78
3	27	39	1194,61	3	98	20	—	—	2,78
5	23	32	1245,41	3	149	16	—	—	2,74
4	15	52	1247,33	3	151	14	—	—	2,73
10	9	16	1270,44	3	174	16	—	—	7,72
8	36	51	1270,98	3	175	5	—	—	2,71
8	23	17	1302,73	3	206	23	—	—	2,70
1	35	30	1312,76	3	217	—	—	—	2,68
7	8	3	1325,59	3	229	20	—	—	2,68
9	22	25	1325.78	3	230	1	—	—	2,68
2	6	1	1328,79	3	233	1	—	—	2,67
9	56	56	1328,86	3	233	3	—	—	2,67
21	38	59	1341,06	3	245	7	—	—	2,67
5	28	2	1346,37	3	250	15	—	—	2,67
5	35	57	1346,72	3	250	23	—	—	2,67
3	34	18	1352,19	3	256	10	—	—	2,66
5	46	54	1352,78	3	257	1	—	—	2,66
21	34	54	1358,03	3	262	6	—	—	2,66
0	41	11	1365,62	3	269	21	—	—	2,65
5	59	27	1375,30	3	279	13	—	—	2,65
3	41	37	1377,95	3	282	5	—	—	2,64
14	46	38	1379,01	3	283	6	—	—	2,64
3	5	9	1388,24	3	292	11	—	—	2,64
5	0	3	1389,78	3	294	1	—	—	2,64
8	34	30	1392,17	3	296	10	—	—	2,64
1	32	30	1393,48	3	297	17	—	—	2,64
4	36	47	1395,29	3	299	13	—	—	2,64
4	37	1	1402,77	3	307	—	—	—	2,63
5	36	5	1420,72	3	324	23	—	—	2.62
2	9	12	1436,23	3	340	11	—	—	2,61
2	17	36	1466,52	4	5	12	—	—	2,59
16	11	25	1487,18	4	26	4	—	—	2.58
6	7	49	1490,54	4	29	13	—	—	2,57
10	4	19	1507,61	4	46	14	—	—	2,57
16	30	57	1510,17	4	49	4	—	—	2,57
5	19	6	1512,08	4	51	2	—	—	2,57
5	29	5	1519,65	4	58	15	—	—	2,56
9	7	5	1522,03	4	61	1	—	—	2,56
8	1	50	1528,74	4	67	17	—	—	2,55
11	38	28	1542,72	4	81	17	—	—	2,54
5	6	42	1549,84	4	88	20	—	—	2,54
8	39	47	1554,60	4	93	14	—	—	2,54
10	13	13	1556,29	4	95	7	—	—	2,54

Namen der Planeten.	Entfernung von der Sonne				Excentricität der Bahn.
	in Halbmessern der Erdbahn, mittlere.	in Millionen geogr. Meilen, mittlere	größte.	kleinste.	
48. Fides	2,64237	54,65	64,21	45,09	0,17498
49. Eunomia	2,64368	54,68	64,92	44,44	0,18724
50. Virginia	2,64974	54,80	70,55	39,06	0,28732
51. Maja	2,65125	54,83	63,51	46,16	0,15809
52. Jo	2,65388	54,89	65,38	44,41	0,19089
53. Proserpina	2,65608	54,93	59,73	50,14	0,08733
54. Mirjam	2,66231	55,06	69,06	41,06	0,25418
55. Clotho	2,66612	55,13	68,88	41,39	0,24931
56. Clytia	2,66658	55,15	57,51	52,79	0,04275
57. Eurydice	2,67084	55,23	72,18	38,29	0,30674
58. Juno	2,67237	55,27	69,38	41,16	0,25528
59. Frigga	2,67375	55,29	62,80	47,79	0,13581
60. Angelina	2,68074	55,44	62,62	48,26	0,12949
61. Circe	2,68716	55,56	61,57	49,56	0,10776
62. Concordia	2,69932	55,83	58,15	53,51	0,04161
63. Hera	2,70226	55,89	60,39	51,38	0,08067
64. Alexandra	2,71231	56,09	67,14	45,05	0,19691
65. Elpis	2,71321	56,11	62,69	49,54	0,11713
66. Eugenia	2,72051	56,26	60,89	51,64	0,08223
67. Leda	2,74015	56,67	65,48	47,87	0,15543
68. Atalante	2,74790	56,83	73,72	39,95	0,29712
69. Niobe	2,75012	56,88	66,92	46,84	0,17645
70. Minerva	2,75381	56,95	64,55	49,36	0,13326
71. Alkmene	2,75471	56,97	69,70	44,25	0,22340
72. Daphne	2,75957	57,08	72,48	41,68	0,26978
73. Pandora	2,75962	57,08	65,19	48,97	0,14203
74. Ceres	2,76539	57,19	61,82	52,57	0,08083
75. Pallas	2,76819	57,25	71,01	43,50	0,44012
76. Thisbe	2,76888	57,27	66,73	47,81	0,16511
77. Lätitia	2,76998	57,36	63,80	50,93	0,11102
78. Galatea	2,77792	57,45	71,14	43,77	0,23821
79. Bellona	2,77847	57,46	66,09	48,84	0,15009
80. Leto	2,78041	57,50	68,34	46,67	0,18846
81. Terpsichore	2,85043	58,95	71,34	46,57	0,21005
82. Polyhymnia	2,86506	59,26	79,30	39,22	0,33819
83. Janthe	2,87833	59,53	71,96	47,10	0,20877
84. Aglaja	2,88019	59,57	67,46	51,68	0,13240
85. Kalliope	2,90950	60,17	66,31	54,04	0,10196
86. Psyche	2,92638	60,52	68,64	52,41	0,13412
87. Hesperia	2,97169	61,46	72,15	50,78	0,17383
88. Danaë	2,98541	61,74	71,94	51,55	0,16505
89. Hekate	2,99397	61,92	72,38	51,45	0,16904
90. Leukothea	3,00604	62,17	75,45	48,89	0.21363
91. Aegle	3,05584	63,19	72,14	54,25	0,14155
92. Arethusa	3,06929	63,48	72,91	54,06	0,14845
93. Pales	3,08401	63,78	78,92	48,65	0,23735
94. Semele	3,09079	63,92	77,03	50,82	0,20495
95. Europa	3,09989	64,11	70,62	57,61	0,10144
96. Doris	3,10949	64,36	69,24	59,48	0,07663
97. Erato	3,13070	64,75	75,82	53,68	0,17098
98. Themis	3,13867	64,91	72,86	56,96	0,12252
99. Antiope	3,13879	64,92	76,26	53,58	0,17472
100. Hygiea	3,14938	65,14	71,69	58,59	0,10055

Neigung der Bahn.			Zeit der siderischen Revolution in mittl. Sonnentagen.	Zeit der siderischen Revolution in Jahren, Tag., Stdn., Min., Sek.					Mittl. Bewegung in 1 Zeitsekunde.
°	′	″							g. Mln.
3	7	9	1568,88	4	107	21	—	—	2,53
11	44	17	1570,04	4	109	1	—	—	2,53
2	47	36	1575,45	4	114	11	—	—	2,53
3	4	15	1576,79	4	115	19	—	—	2,53
11	53	9	1579,14	4	118	3	—	—	2,52
3	35	47	1581,10	4	120	2	—	—	2,52
5	6	3	1586,72	4	125	17	—	—	2,52
11	43	29	1590,07	4	129	2	—	—	2,52
2	24	39	1590,49	4	129	12	—	—	2,52
5	0	1	1594,28	4	133	6	—	—	2,51
13	2	43	1595,67	4	134	16	—	—	2,51
2	27	55	1596,91	4	135	21	—	—	2,51
1	19	52	1603,17	4	142	4	—	—	2,51
5	26	27	1608,93	4	147	22	—	—	2,51
5	1	50	1619,87	4	158	20	—	—	2,50
5	21	35	1622,52	4	161	12	—	—	2,50
11	46	42	1631,58	4	170	14	—	—	2,50
8	37	12	1632,39	4	171	9	—	—	2,50
6	34	57	1638,98	4	177	23	—	—	2,49
6	58	25	1656.76	4	195	18	—	—	2,48
18	41	51	1663,80	4	202	19	—	—	2,48
23	19	4	1665,83	4	204	20	—	—	2,47
8	35	34	1669,17	4	208	4	—	—	2,47
2	51	26	1669,98	4	208	23	—	—	2,47
16	0	4	1674,41	4	213	10	—	—	2,47
7	13	28	1674,45	4	213	11	—	—	2,47
10	37	30	1679,70	4	218	17	—	—	2,47
34	43	10	1682,26	4	221	6	—	—	2,47
5	14	30	1682,89	4	221	21	—	—	2,47
10	20	58	1683,89	4	222	21	—	—	2,47
3	58	56	1691,14	4	230	3	—	—	2,46
9	21	26	1691,64	4	230	15	—	—	2,46
7	57	34	1693,40	4	232	9	—	—	2,46
7	55	22	1757,78	4	296	19	—	—	2,44
1	56	18	1771,33	4	310	8	—	—	2,43
15	8	2	1783,64	4	322	15	—	—	2,42
5	0	9	1785,38	4	324	9	—	—	2,42
13	45	28	1812,70	4	351	17	—	—	2,42
3	3	58	1828,50	5	2	6	—	—	2,41
8	29	19	1871,13	5	44	21	—	—	2,38
18	17	9	1884,11	5	57	20	—	—	2,37
6	9	50	1892,21	5	65	23	—	—	2,37
8	10	32	1903,68	5	77	10	—	—	2,37
16	5	41	1951,16	5	124	22	—	—	2,35
12	52	6	1964,05	5	137	19	—	—	2,35
3	8	33	1978,23	5	151	23	—	—	2,35
4	47	54	1984,73	5	158	11	—	—	2,35
7	24	40	1993,51	5	167	6	—	—	2,34
6	29	30	2002,78	5	176	12	—	—	2,33
2	12	23	2023,30	5	197	1	—	—	2,33
0	48	38	2031,03	5	204	18	—	—	2,33
2	16	47	2031,15	5	204	21	—	—	2,33
3	47	9	2041,43	5	215	4	—	—	2,32

Namen der Planeten.	Entfernung von der Sonne in Halbmessern der Erdbahn, mittlere.	in Millionen geogr. Meilen, mittlere.	größte.	kleinste.	Excentricität der Bahn.
101. Euphrosyne	3,15714	65,29	79,54	51,05	0,21815
102. Mnemosyne	3,15729	65,30	72,10	58,50	0,10411
103. Aurora	3,16379	65,44	71,34	59,54	0,09014
104. Clymene	3,17981	65,76	78,74	52,78	0,19735
105. Undina	3,19126	66,00	72,88	59,13	0,10408
106. Dione	3,20101	66,20	79,11	53,29	0,19502
107. Freja	3,38643	70,05	83,18	56,93	0,18717
108. Cybele	3,41984	70,73	79,23	62,23	0,12017
109. Sylvia	3,49271	72,24	78,10	66,38	0,08118
110. Jupiter	5,20279	107,60	112,80	102,41	0,04824
111. Saturn	9,53885	197,28	208,33	186,24	0,05599
112. Uranus	19,18263	396,58	414,89	378,27	0,04657
113. Neptun	30,03386	621,17	626,89	615,46	0,00917

Namen der Planeten.	Rotationszeit.				Abplattung.	Neigung der Achse zur Bahn.		Lichtstärke die der Erde = 1.	Das Licht der Sonne bis zum Planeten braucht Zeit:	
	Tg.	h	m	s		°	′		m	s
1. Merkur	—	24	5	—	?	70	—?	6,656	3	12,6
2. Venus	—	23	21	22	?	18	—?	1,932	6	0,6
3. Erde	—	23	56	4	$\frac{1}{299}$	66	22	1,000	8	17,78
4. Mars	1	—	37	23	?	62	44	0,436	14	18,5
5. Jupiter	—	9	55	27	$\frac{1}{14}$?	86	54	0,036	43	9,8
6. Saturn	—	10	29	17	$\frac{1}{10}$	63	—?	0,011	79	8,2
7. Uranus	—		?		?	90	—?	0,003	159	8,6
8. Neptun	—		?		?	?		0,001	249	11,4
9. Sonne	25	8	9	—(?)	?	..	..		..	...

Neigung der Bahn.			Zeit der siderischen Revolution in mittl. Sonnentagen.	Zeit der siderischen Revolution in Jahren, Tag., Stdn., Min., Sek.					Mittl. Bewegung in 1 Zeitsekunde.
°	″	′							g. Mln.
26	26	0	2048,99	5	222	17	—	—	2,32
15	8	1	2049,13	5	222	21	—	—	2,32
8	5	27	2055,47	5	229	5	—	—	2,31
2	53	26	2071,09	5	244	20	—	—	2,30
9	56	22	2082,29	5	256	1	—	—	2,30
4	41	33	2091,84	5	265	14	—	—	2,29
2	1	51	2276,20	6	84	17	—	—	2,24
3	28	9	2309,98	6	118	11	—	—	2,22
10	51	22	2384,19	6	192	16	—	—	2,20
1	18	40	4332,58	11	314	19	55	12	1,81
2	29	28	10759,22	29	166	23	16	48	1,34
0	46	30	30686,82	84	5	19	40	48	0,94
1	47	1	60117,37	164	216	8	52	48	0,76

Periodische Kometen.

Komet von	Entfernung von der Sonne in Halbmessern der Erdbahn, mittlere.	größte.	kleinste.	Excentricität.	Neigung der Bahn.			Umlaufszeit in Jahren.
					°	″	′	
Encke	2,217	4,095	0,339	0,847	13	5	0	3,302
de Vico	3,100	5,012	1,186	0,617	2	54	46	5,459
1819 III.	3,139	5,510	0,769	0,755	10	48	12	5,56
Brorsen	3,193	5,654	0,621	0,802	29	48	59	5,562
d'Arrest	3,444	5,715	1,173	0,659	13	55	8	6,390
Biela	3,520	6,184	0,856	0,756	12	34	53	6,603
Faye	3,813	5,932	1,694	0,555	11	22	10	7,445
Halley	17,987	35,380	0,586	0,967	17	45	5	76,291

Komet von	Epoche.						Länge des Perihels.			Länge des aufsteigenden Knotens.			Richtung der Bewegung.
			h	m	s		°	′	″	°	′	″	
Encke	1862 d.	6. Febr.	3	50	22	Paris	158	0	50	334	30	50	Rechtläufig
de Vico	1844 d.	2. Septbr.	11	37	30	Paris	342	30	48	63	49	38	»
1819 III.	1858 d.	2. Mai	0	57	32	Paris	275	40	21	113	34	5	»
Brorsen	1857 d.	29. März	5	35	59	Paris	195	43	31	101	46	29	»
d'Arrest	1851 d.	8. Juli	16	24	51	Paris	322	54	42	148	23	37	»
Biela	1846 d.	10. Febr.	23	59	31	Paris	109	2	53	245	54	15	»
Faye	1858 d.	12. Septbr.	20	54	53	Paris	49	50	8	209	39	49	»
Halley	1835 d.	13. Novbr.	22	41	22	Paris	304	31	32	55	9	59	Rückläufig

Zu den vorstehenden Tabellen über die Planeten ist zu bemerken, daß die Angaben darin im allgemeinen dem »*Littrow*schen Kalender für alle Stände« entnommen sind. Die Elemente für die Sonne, Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn und Uranus sind diejenigen, welche *Leverrier* seinen Rechnungen zu grunde legt; die des Neptun diejenigen, welche die Untersuchungen *Kowalski*'s über die Bewegungen dieses Planeten ergeben haben. Die Angaben über die Asteroiden sind zum Theil nur als erste Versuche zu betrachten, da sie oft nur aus Beobachtungen einer Erscheinung abgeleitet werden konnten; für Dike (99) haben sich noch gar keine berechnen lassen. Sicherer sind die für Iris, Flora, Metis, Victoria, Eunomia, Melpomene und Circe.

Die Massenbestimmungen betreffen bei den mit Monden versehenen Planeten das ganze System, bei Saturn auch die Ringe mit eingeschlossen. Lagen in einzelnen Fällen verschiedene Angaben vor, so sind die wahrscheinlich richtigsten mit Angabe der Quelle bei den einzelnen Planeten gewählt worden.

Schließlich ist noch zu bemerken, daß manche der gegebenen Werthe wahrscheinlich späterhin einer Aenderung werden unterworfen werden müssen, indem die den bisherigen Berechnungen zu grunde gelegte Horizontal-Parallaxe der Sonne von 8″,57 wahrscheinlich zu klein ist. Die genauere Bestimmung dieser Größe muß von den Beobachtungen der nächsten Venusdurchgänge durch die Sonnenscheibe erwartet werden. Nimmt man das Mittel aus den bis jetzt vorliegenden Angaben über jene Größe, nämlich 8″,94, als der Wahrheit näher kommend an, so ist die halbe große Achse der Erdbahn, das Grundmaß für alle Entfernungen der Planeten von der Sonne, und darum auch diese Entfernungen, um $^1/_{24}$ zu groß. Reducirt man in diesem Verhältnis z. B. die Entfernungen der Erde von der Sonne, so würde sich ergeben: Mittlere Entfernung = 19,82 mill., größte = 20,15 mill., kleinste = 19,48 mill. Mln. Hiernach würden die Entfernungen aller Planeten von der Sonne zu ändern sein.

Auch die wahren Durchmesser, mit Ausnahme dessen der Erde, würde man um $^1/_{24}$ vermindern müssen, da in den bisherigen Rechnungen die Entfernungen der Planeten von der Sonne wahrscheinlich um eben so viel zu groß angenommen worden sind.

Die Volumina, das der Erde ausgenommen, würden eine Verminderung von $^3/_{25}$ des angegebenen Werthes erfahren müssen. Die Dichtigkeiten würden um $^1/_8$, die Fallhöhen in der ersten Sekunde um $^1/_{12}$ zu vermehren sein.

Zweiter Abschnitt.

Von den Fixsternen.

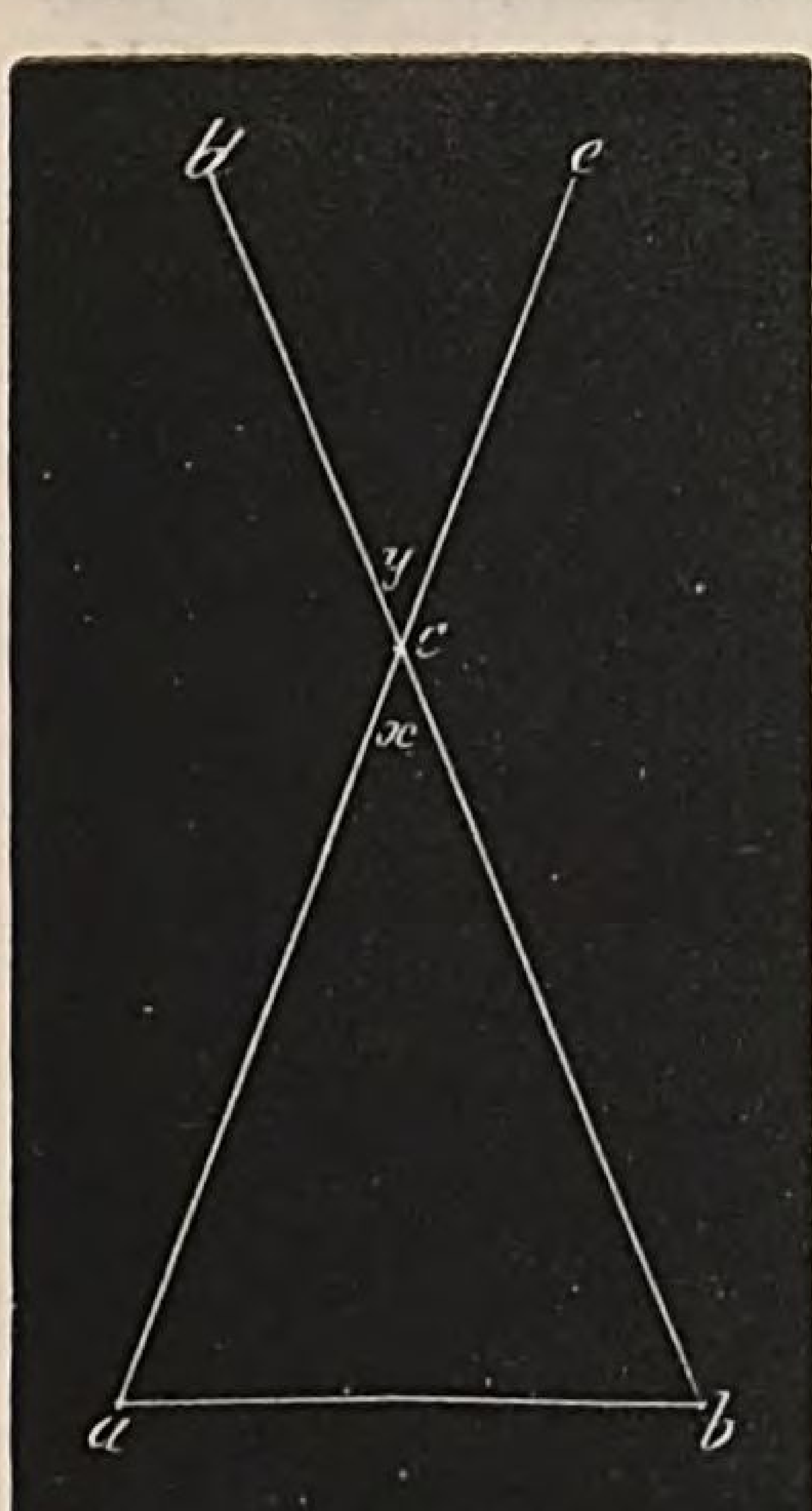
Erstes Kapitel.

Bestimmung der Entfernung der Gestirne.

Ehe wir zur näheren Betrachtung der Fixsterne und der von ihnen gebildeten Systeme übergehen, möge hier noch zuvor das Wichtigste über die Mittel, durch welche man die Entfernung der Gestirne und Entfernung überhaupt zu bestimmen im stande ist, seine Stelle finden.

1. **Parallaxe.** Betrachtet man z. B. auf freiem Felde einen fernen Baum oder irgend einen anderen Gegenstand, so wird man denselben von einem bestimmten Standpunkte aus an einer bestimmten Stelle des Horizontes, und hier vielleicht ein Haus oder sonst einen Gegenstand bedeckend erblicken. Man nennt den Ort, an welchem der Gegenstand erscheint, den scheinbaren oder optischen Ort des Gegenstandes, von dem der wirkliche Ort desselben, wo er sich in Wirklichkeit befindet, zu unterscheiden ist. Aendert man den ersten Standpunkt, indem man sich seitlich bewegt, so wird man auch eine Aenderung des scheinbaren Ortes des Gegenstandes wahrnehmen und ihn allmählich andere und wieder andere Punkte des Horizontes verdecken sehen. Ginge man z. B. nach W., so würde der Gegenstand scheinbar nach O., bewegte man sich nach O., der Gegenstand nach W., in jedem Falle in entgegengesetzter Richtung mit der wirklichen Bewegung fortzurücken scheinen. Wäre, *Fig. 109*, in *c* ein Gegenstand, den man von zwei verschiedenen Standorten, *a* und *b*, betrachtete, so würde derselbe von *a* aus in der Richtung *ace*, von *b* aus in der Richtung *bcd* erscheinen. Es würden also die beiden von *a* und *b* nach dem Gegenstande gehenden Gesichtslinien an demselben zwei Winkel, *x* und *y*, bilden, die als Scheitelwinkel einander gleich sind. Diesen Winkel, den zwei von verschiedenen Standorten nach

Fig. 109.

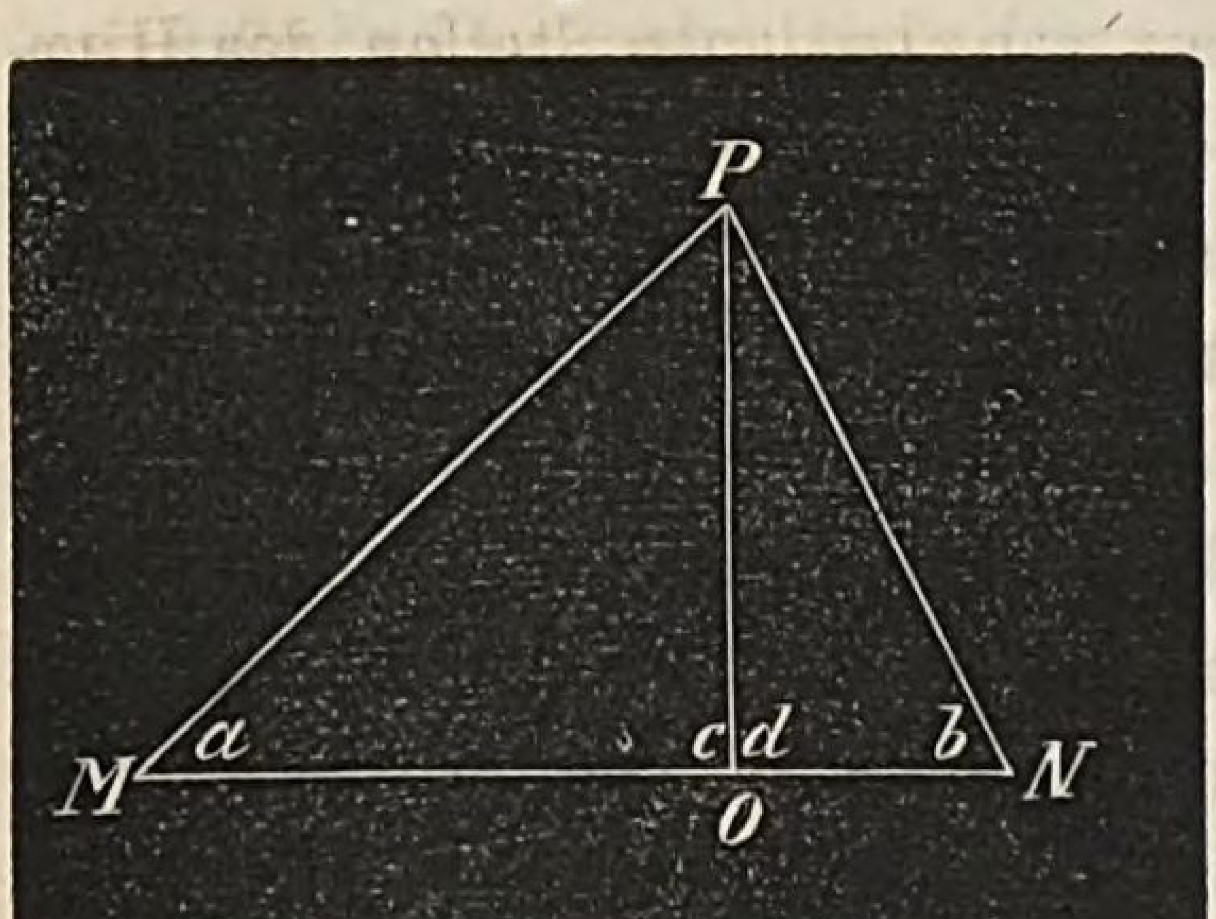


einem Gegenstande gezogene Gesichtslinien an dem Gegenstande bilden, nennt man die Parallaxe des Gegenstandes. Die Größe dieses Winkels ist, wie man leicht einsieht, von zwei Dingen, nämlich einmal von der Größe der Ortsveränderung oder der Entfernung der beiden Standpunkte, in der Figur von der Entfernung von *a* und *b*, sodann von der Entfernung des Gegenstandes von dem Beobachter abhängig. Ohne weiteres ist klar, daß jener Winkel um so größer ist, je größer entweder die Entfernung der beiden Standpunkte, oder je kleiner die Entfernung des Gegenstandes vom Beobachter ist, und umgekehrt. Jedenfalls ändern also die uns näheren Dinge ihren scheinbaren Ort schneller als die ferneren, und hierin liegt die Ursache der bei Reisen auf Eisenbahnen leicht zu machenden Wahrnehmung, daß die zur Seite der Bahn befindlichen Gegenstände in einer Drehung begriffen zu sein scheinen. Der Umstand, daß Sonne, Mond und Sterne nicht hinter uns zurückzubleiben scheinen, spricht für eine große Entfernung dieser Himmelskörper von der Erde.

2. **Anwendung der Parallaxe zur Bestimmung der Entfernung.** Die Beobachtung der Parallaxe aber ist ein vortreffliches Mittel, die Entfernung der Gegenstände zu bestimmen, und wir wollen hier das Wichtigste in dieser Beziehung mittheilen.

Es sei, *Fig. 110*, *P* ein Gegenstand, zu dem man nicht direkt gelangen kann. Man visire nun von irgend einem Punkte, wir wollen annehmen von *O* aus, nach dem Gegenstande, stecke eine zu *PO* rechtwinklige Linie *MN* ab und messe mittelst einer Meßkette möglichst genau die Längen von *MO* und *ON* = *MN*, die sogenannte Basis. Sodann visire man mit einem Winkelinstrumente von den Endpunkten der Linie *MN* nach dem Gegenstande *P* und bestimme die beiden Winkel *a* und *b*, so ist alles geschehen, was nöthig ist, um die direkte Entfernung des Gegenstandes *P* von irgend einem der drei Punkte *M*, O und *N* zu bestimmen. Es sind nämlich die beiden Dreiecke *POM* und *PON* bei *O* rechtwinklige Dreiecke, in denen man außer den Seiten *MO* und *NO* die beiden anliegenden Winkel und außerdem auch noch die Winkel an der Spitze *P*, die Parallaxe des Gegenstandes, kennt. Darum sind die Dreiecke nach Form und Größe bestimmt, und die ebene Trigonometrie lehrt in diesem Falle aus einer bekannten Seite die Größe einer jeden anderen Seite des Dreiecks durch leichte Rechnung finden.

Fig. 110.



In dem Falle, in welchem die Basis gegen die zu messende Entfernung sehr klein, ja fast verschwindend klein ist, welcher Fall namentlich bei Bestimmung der Entfernung der Himmelskörper eintritt, ließe sich ein anderes einfaches Verfahren anwenden, die gesuchte Entfernung zu bestimmen. Wäre

z. B., *Fig. 111*, c ein von a und b sehr entfernter Gegenstand, so könnte das von den Gesichtslinien ac und bc mit der Basis ab gebildete Dreieck abc als ein Kreisausschnitt betrachtet werden, in welchem für das Stück der Peripherie zwischen a und b ohne merklichen Fehler die Sehne ab gesetzt werden könnte. Wäre nun in dem Dreieck abc die Parallaxe des Gegenstandes, der Winkel bei c, bekannt, so könnte dieser Winkel als ein Centriwinkel angesehen werden. Der wievielste Theil nun dieser Centriwinkel von 360° wäre, der sovielste Theil müßte auch ab von der ganzen Peripherie des vorausgesetzten Kreises sein. Hieraus ließe sich aber leicht die ganze Peripherie und aus dieser durch eine einfache Rechnung die Größe des Radius, d. i. in unserem Falle ac und bc, oder die gesuchte Entfernung bestimmen. Es sei z. B. in *Fig. 111* Winkel $c = 3^0$ und Seite $ab = 60$ Fuß. Der Centriwinkel von 3° ist $^3/_{360} = {}^1/_{120}$ von 360°, folglich auch 60 Fuß $= {}^1/_{120}$ der ganzen Peripherie, und diese also $= 120 \times 60$ Fuß $= 7200$ Fuß. Da aber die Peripherie eines Kreises 3,14mal so groß ist als der Durchmesser desselben, so müßte der Durchmesser des in Rede stehenden Kreises $= \frac{7200}{3,14} = 2292,99$ und der Halbmesser, d. i. die gesuchte Entfernung, $= \frac{2292,99}{2} = 1146,49$ Fuß sein.

Fig. 111.

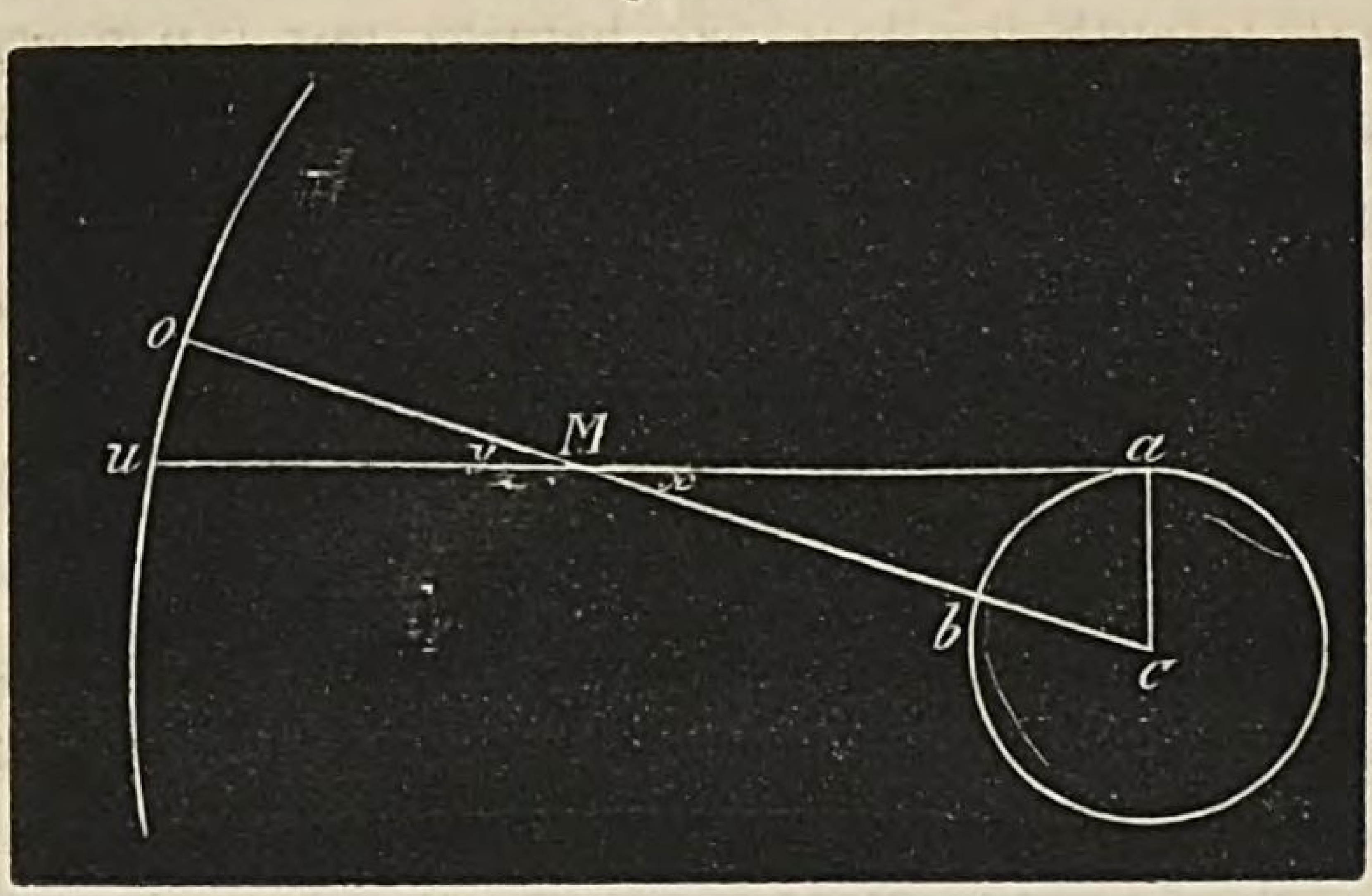


3. **Anwendung auf die Himmelskörper.** Der Himmel bietet der Erde eine Menge der verschiedensten Weltkörper zur Betrachtung dar; von verschiedenen Standorten aber müssen dieselben an verschiedenen Stellen des Himmelsgewölbes erscheinen, so daß es also für denselben Körper eine große Zahl von scheinbaren Oertern giebt. Alle diese Oerter gruppiren sich aber um denjenigen Ort, welchen der Weltkörper einnehmen würde, wenn er vom Mittelpunkte der Erde aus betrachtet würde. Man pflegt diesen Ort seinen wahren Ort zu nennen, und es ist leicht einzusehen, daß ein Himmelskörper nur dann an seinem wahren Orte erscheinen kann, wenn er im Zenithe des Beobachters steht. Für nördlicher stehende Beobachter erscheint er südlich, für südlicher stehende nördlich von seinem wahren Orte u. s. w. Der Winkel aber, den zwei von verschiedenen Standpunkten aus nach einem Stern gehende Gesichtslinien an dem Sterne bilden, ist nichts anderes als die Parallaxe des Sterns, und der zwischen den beiden scheinbaren Oertern liegende Bogen des Himmels kann als das Maß für die Parallaxe angesehen werden. Man pflegt die Parallaxe der Gestirne aber in verschiedenem Sinne zu bestimmen.

4. **Horizontal-Parallaxe.** Es sei in *Fig. 112* c der Mittelpunkt der Erde und auf dieser a der Ort eines Beobachters. Betrachtete man den Mond M von dem Mittelpunkte c aus, so würde sein wahrer Ort in o an der unermeßlich weit entfernt zu denkenden Himmelskugel sein; an demselben Orte würde er einem Beobachter in b in dessen Zenithe erscheinen.

Von a aus würde er dagegen in u gesehen werden. Beide Gesichtslinien

Fig. 112.



würden also in M die beiden gleichen Winkel x und y bilden, als deren Maß der Bogen ou angesehen werden kann. In der Figur ist aM rechtwinklig auf dem Radius ac gezeichnet worden; aM könnte daher als der astronomische Horizont (S. 134) des Ortes a betrachtet werden, und M ist also der Ort des Himmels, an welchem von a aus der aufgehende Mond gesehen werden würde. Für c oder b würde aber offenbar der Mond im Zenithe stehen und o den scheinbaren, zugleich aber auch den wahren Ort des Mondes für diese Oerter bezeichnen. Den unter den angegebenen Verhältnissen gebildeten Winkel x oder y pflegt man die Horizontal-Parallaxe des Mondes zu nennen. Diese ist also der Winkel, der von den nach dem Monde (dem Mondmittelpunkte) gehenden Gesichtslinien zweier Beobachter gebildet wird, von denen der eine den Mond im Horizonte, der andere in seinem Zenithe sieht. Der Winkel x ist aber auch der Winkel, unter welchem einem im Mondmittelpunkte M befindlichen Auge der Halbmesser der Erde erscheint, und gewöhnlich pflegt die Horizontal-Parallaxe des Mondes als dieser Winkel erklärt zu werden. Verallgemeinert man die Sache, so kann man sagen: Die Horizontal-Parallaxe eines Sternes ist der Winkel, unter welchem einem im Mittelpunkte dieses Sternes befindlichen Auge der Halbmesser der Erde erscheint.

5. **Benutzung der Horizontal-Parallaxe zur Bestimmung der Entfernung.** Für den Mond beträgt diese Horizontal-Parallaxe 57′ 2″, für die fernere Sonne nur 8″,57 oder, wie wahrscheinlich richtiger, 8″,94. Die Bestimmung dieser Größen ist für die Astronomie von ganz besonderer Wichtigkeit, da sie ein ganz vorzügliches Mittel ist, die Entfernung der Gestirne von der Erde und die wahre Größe derselben zu bestimmen.

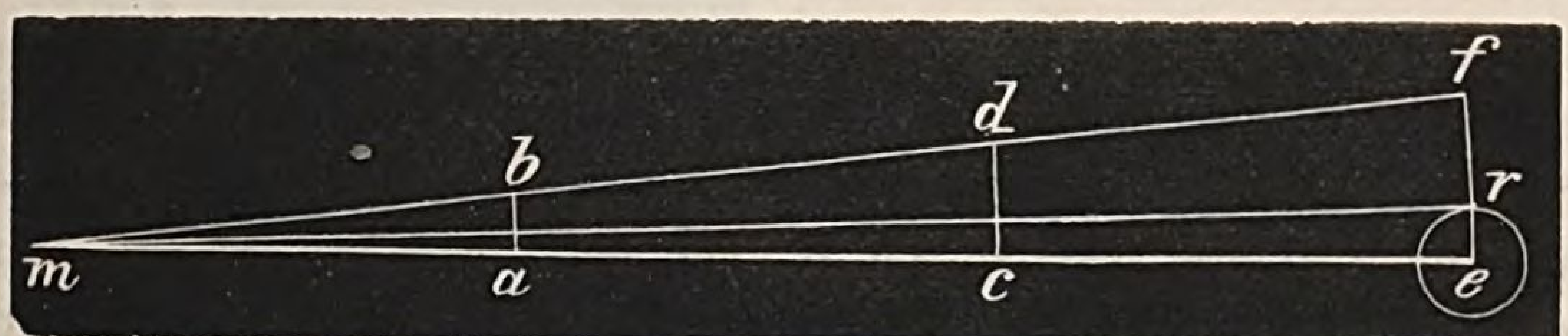
Versuchen wir zur Bestimmung der Entfernung des Mondes von der Erde das oben mitgetheilte, auf die Kreisberechnung gegründete Verfahren.

Die Horizontal-Parallaxe des Mondes ist = 57′ 2″. Dieser Winkel ist = $^1/_{378,7}$ von $4R$, folglich auch der Erdradius ca als der den Winkel x bespannende Theil der Peripherie des vorausgesetzten Kreises = $^1/_{378,7}$ der ganzen Peripherie dieses Kreises, diese letztere also = 378,7 $\times$ 859,4 geogr. Mln. = 325454,78 geogr. Mln. Diese Zahl, mit 3,14 dividirt, würde den Durchmesser des Kreises = 103648 geogr. Mln. geben, und mithin $\frac{103648}{2} = 51824$ geographische Meilen der Halbmesser des Kreises oder die gesuchte Entfernung des Mondes von der Erde sein. Die Differenz zwischen diesem und der

jetzt als richtig angenommenen Entfernung des Mondes von der Erde, 51804 geographische Meilen, ist nicht beträchtlich; denn sie beträgt nur 20 geogr. Meilen. Sie ist überhaupt um so geringer, je kleiner die Horizontal-Parallaxe eines Sternes ist. Berechnet man in der angegebenen Weise die Entfernung der Sonne von der Erde, so erhält man bei der bisher angenommenen Horizontal-Parallaxe von 8″,57 als mittlere Entfernung von der Erde 20668217 geographische Meilen, bei der wahrscheinlich richtigen Parallaxe von 8″,94 dagegen 19838236 geogr. Mln.

Aber auch durch eine sehr einfache trigonometrische Rechnung läßt sich aus der Horizontal-Parallaxe eines Gestirns einmal seine Entfernung von der Erde, außerdem aber auch sein wahrer Halbmesser finden.

Fig. 113.



Es sei Winkel *fme* ein sehr kleiner Centriwinkel; das Maß dieses Winkels sind die Bogen *ab*, *cd* und *ef*, die sich wie 1 : 2 : 3 verhalten, da die Radien *ma*, *mc*, *me* der Kreise, zu denen sie gehören, in demselben Verhältnis zu einander stehen. Befände sich ein Auge in *m*, so würden demselben jene drei Bogen unter gleichem Winkel erscheinen. Es läßt sich deshalb unter der Annahme sehr kleiner Winkel sagen: Bei gleicher scheinbaren Größe wächst die wahre Größe im Verhältnis mit der Entfernung. Daraus folgt aber umgekehrt, daß die scheinbare Größe eines Gegenstandes im umgekehrten Verhältnis mit der Entfernung abnimmt; so würde z. B. ein Gegenstand von der Größe des Bogens *ab* in der Entfernung *me* nur $^1/_3$ so groß erscheinen als in der Entfernung *ma*.

Unter der obigen Annahme sehr kleiner Winkel, ein Fall, der bei der Berechnung der Entfernungen von Himmelskörpern der gewöhnliche ist, kann aber der den Winkel bespannende Bogen dem Lothe gleichgesetzt werden, welches von dem Endpunkte des Bogens auf den gegenüberliegenden Radius gefällt wird. Dieses Loth ist aber der Sinus des Winkels, dessen Zahlenwerth stets im Verhältnis zum Radius angegeben wird, so daß dieser also die Einheit bildet. Diese Einheit, in unserm Falle die Entfernung zu finden, hat nun keine Schwierigkeit mehr. Es sei z. B. der Kreis um *e* die Erde und Winkel *rme* die Horizontal-Parallaxe des Mondes in *m*. Diese Parallaxe ist, wie wir schon wissen, im Mittel = 57′ 2″; da der Sinus dieses Winkels = 0,016589 des zugehörenden Radius ist, so ist dieser selbst $= \frac{1,000000}{0,016589} = 60,28$.
Die Entfernung des Mondes von der Erde ist also 60,28 mal so groß als der Erdhalbmesser, in der Figur *re*, mithin = 60,28 × 859,4 geogr. Mln. = 51845,32 geogr. Mln. Man findet daher allgemein die Entfernung eines Sternes von der Erde, indem man den wahren Halbmesser der Erde mit dem Sinus der Horizontal-Parallaxe des Sternes dividirt. Hieraus folgt umgekehrt,

daß der wahre Halbmesser eines Sternes gleich ist seiner Entfernung von dem Mittelpunkte der Erde, multiplicirt mit dem Sinus der Horizontal-Parallaxe des Sternes.

6. **Berechnung der Zeit, welche ein Stern früher für den wahren, als für den astronomischen Horizont aufgeht.** Wir haben früher den wahren von dem astronomischen Horizonte unterschieden. Aus der Horizontal-Parallaxe läßt sich leicht berechnen, wieviel früher ein Stern für den wahren, als für den astronomischen Horizont aufgehen muß. So beträgt die Horizontal-Parallaxe des Mondes 57′ 2″. Vom Erdmittelpunkte aus betrachtet, würde also der Mond 57′ 2″ höher als von der Erdoberfläche aus gesehen werden. Da nun 57′ 2″ einen Zeitunterschied von 3,82 Minuten bedingen, so muß der Aufgang des Mondes für den wahren Horizont 3,82 Min. früher als für den astronomischen Horizont erfolgen.

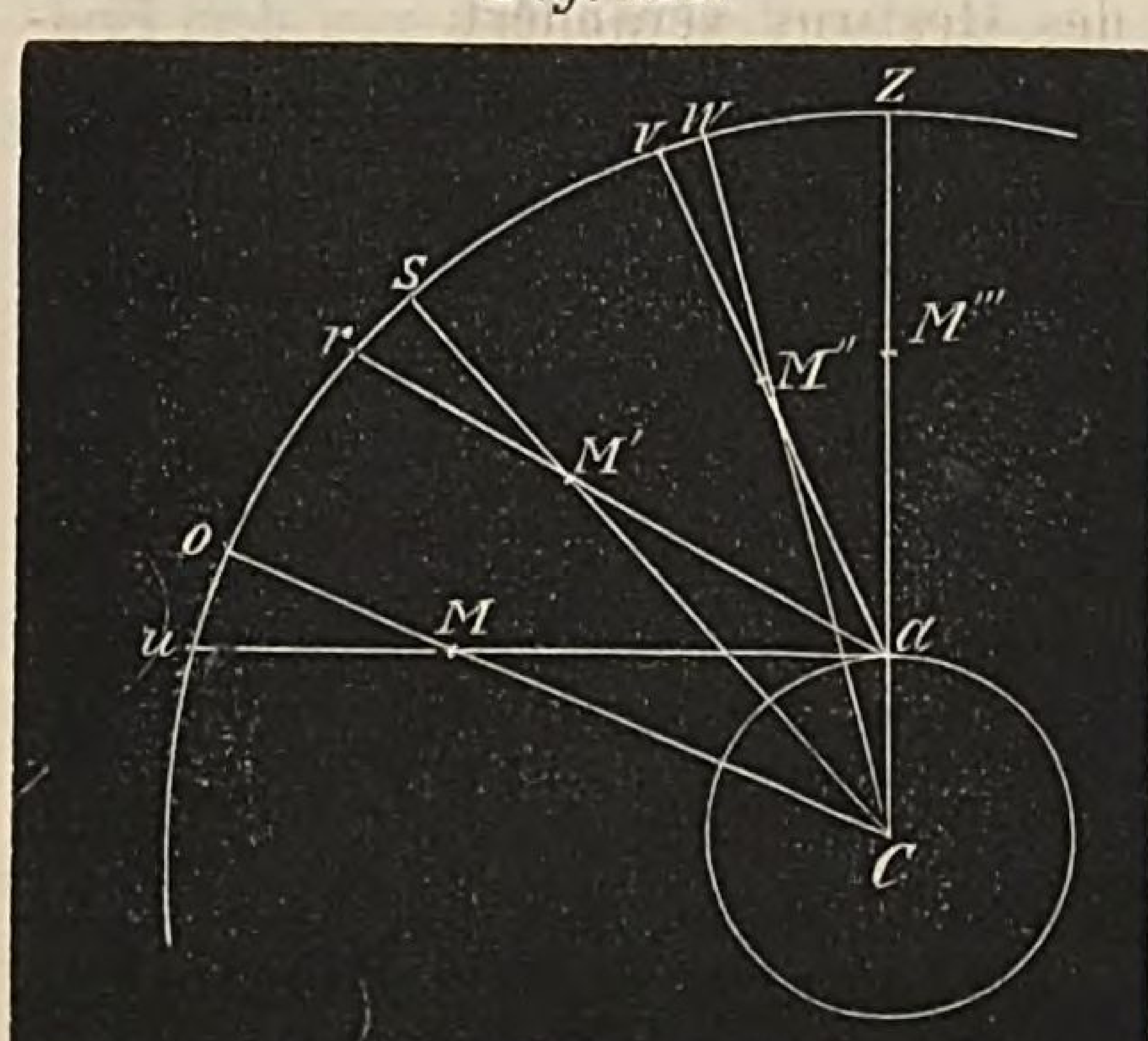
Bei der Sonne würde der Zeitunterschied für beide Horizonte schon weit unbeträchtlicher sein. Ihre Horizontal-Parallaxe ist $= 8'',57$. Es sind $360^0 = 1296000''$ und diese, in Zeit verwandelt, $= 24$ Stdn.; folglich ist $1'' = \frac{24}{1296000}$ Stdn., und

$$8'',57 = \frac{24 \times 8,57}{1296000} \text{ Stdn.} = \frac{205,68}{1296000} \text{ Stdn.} = \frac{740448}{1296000} \text{ Sek.} = 0,571 \text{ Sek.}$$

Für Uranus mit einer Horizontal-Parallaxe von $0'',47$ würde jene Zeitdifferenz nur 0,032 Sek. betragen, eine Zeit, die kaum merklich sein dürfte. Fast gleich Null aber muß sie für die unermeßlich weiten Fixsterne sein. Uebrigens gelten die oben berechneten Werthe nur für die senkrechte Sphäre, wo die Sterne senkrecht emporsteigen.

7. **Höhenparallaxe.** Außer der Horizontal-Parallaxe eines Gestirns unterscheidet man auch wohl noch die Höhenparallaxe desselben. Stände z. B., *Fig. 114*, ein Stern nicht, wie bei der Horizontal-Parallaxe, in dem Horizonte, sondern in einer gewissen Höhe, z. B. in M', so würde derselbe vom Erdmittelpunkte C aus in s, von a aus dagegen in r gesehen werden. Man nennt nun den von den beiden Gesichtslinien CM' und aM' gebildeten Winkel $CM'a$ oder den ihm gleichen Winkel $rM's$ die Höhenparallaxe des Sterns. Winkel $CM'a$ schließt zwar auch noch den Erdhalbmesser ein, aber keine der Gesichtslinien steht senkrecht auf ihm; es muß demnach die Höhenparallaxe eines Sterns kleiner sein als seine Horizontal-Parallaxe. In M'', also in noch größerer Höhe, würde die Höhenparallaxe $CM''a$ noch kleiner als in M' sein, und in M''', im Zenithe des Ortes a, würde sie gänzlich verschwinden und der Stern an seinem wahren Orte erscheinen. Aus dem Gesagten ergiebt sich: 1) die Höhenparallaxe ist stets kleiner als die Horizontal-Parallaxe; 2) die Höhenparallaxe nimmt mit der Höhe des Gestirns an Größe ab und ist im Zenithe

Fig. 114.

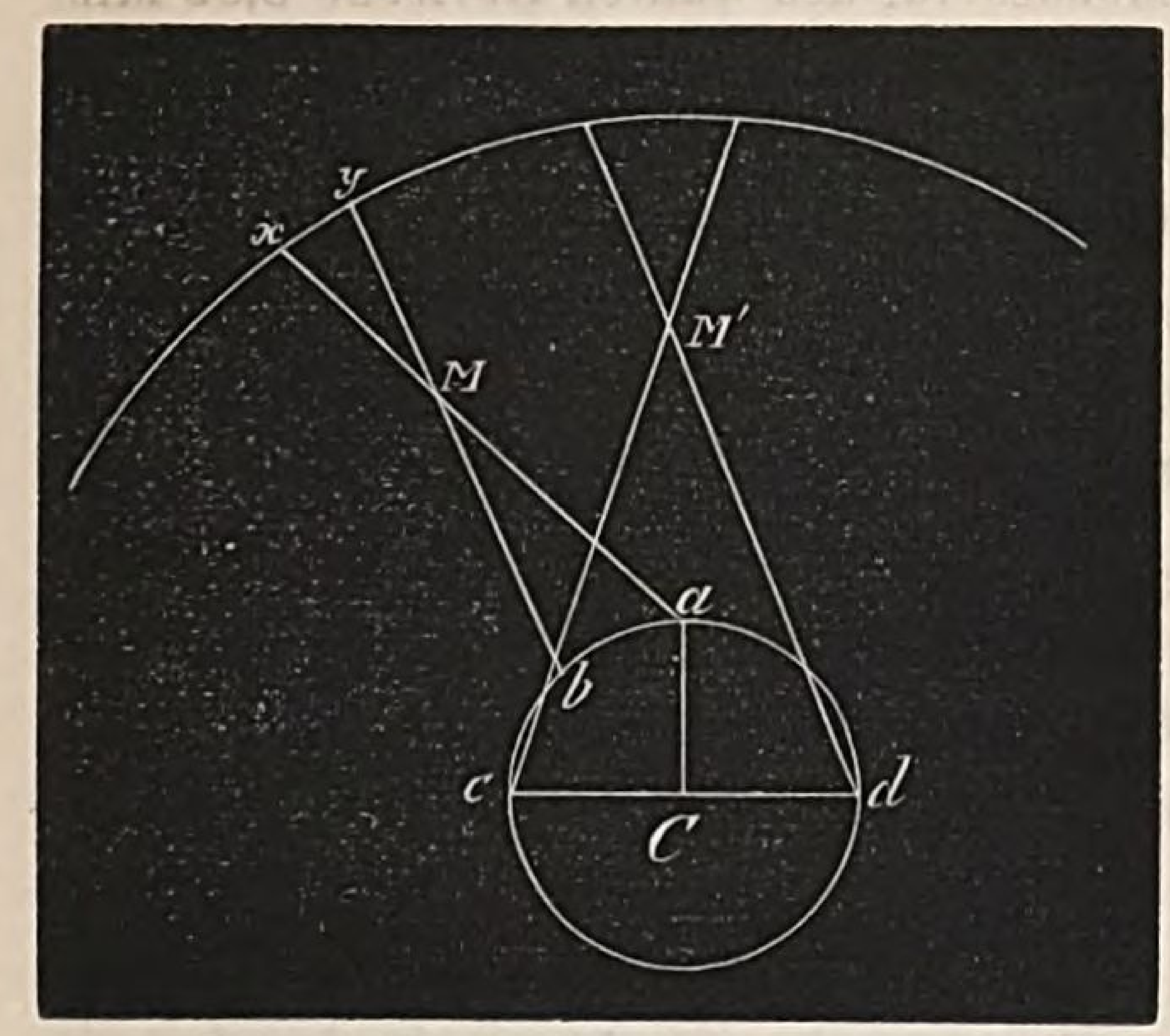


gleich Null; 3) die Horizontal-Parallaxe ist die größte aller täglichen Parallaxen; denn Horizontal- und Höhenparallaxe werden auch die tägliche Parallaxe genannt.

Aus unmittelbaren Beobachtungen läßt sich am leichtesten die Höhenparallaxe bestimmen, was bei der Horizontal-Parallaxe schwer ist; man pflegt darum diese letztere aus der ersteren durch Rechnung abzuleiten.

8. **Ortsparallaxe.** Von den bisher besprochenen Parallaxen kann noch die Ortsparallaxe unterschieden werden. Zwei Oerter der Erde, *a* und *b*, *Fig. 115*, für welche das Gestirn *M* bereits aufgegangen ist, werden dasselbe ebenfalls an verschiedenen Punkten der Himmelssphäre erblicken, und man nennt den von den entsprechenden Gesichtslinien an dem Gestirn gebildeten Winkel *aMb* oder den ihm gleichen Winkel *xMy* die Ortsparallaxe des Gestirns. Diese wird aber nicht, wie die beiden vorigen, auf den Erdhalbmesser, sondern auf die Entfernung der Beobachtungsörter bezogen, und natürlich um so größer, je größer jene Entfernung ist. Sie kann größer als die Horizontal-Parallaxe sein, da sie im äußersten Falle der Winkel (*cM'd*) sein kann, unter welchem dem entsprechenden Gestirne der Erddurchmesser erscheint. Dieser Fall würde z. B. eintreten, wenn zwei Antipoden den unter- und aufgehenden Mond betrachteten und seinen scheinbaren Ort bestimmten.

Fig. 115.



Liegen die beiden Beobachtungsörter in demselben Parallelkreise, so wird durch die Ortsparallaxe die Rectascension, liegen sie in demselben Meridian, die Deklination, befinden sie sich endlich auf verschiedenen Parallelkreisen und Meridianen, Rectascension und Deklination des Gestirns verändert.

9. **Jährliche Parallaxe.** Versucht man die bis jetzt besprochenen Parallaxen bei den Fixsternen zu bestimmen, so findet man, daß dies absolut unmöglich ist, indem auch nicht die geringste Aenderung in der Position der Fixsterne bemerkbar wird, wie weit entfernt man die Standpunkte auf der Erdoberfläche auch wählen möge. Es sind nämlich alle irdischen Entfernungen den fast unermeßlich weit von uns entfernten Fixsternen gegenüber so verschwindend kleine Größen, daß sie keine Parallaxe bei den Fixsternen hervorzurufen vermögen. Eine bedeutendere Ortsveränderung wird uns durch die fortschreitende Bewegung der Erde um die Sonne geboten. Der Durchmesser der Erdbahn nämlich beträgt c. 40 mill. Mln., und von einem gewissen Zeitpunkte an erreicht die Erde nach je 6 Monaten einen Ort im Weltenraum, der von jenem ersten 40 mill. Mln. entfernt ist. Es sind also die Endpunkte des

Durchmessers der Erdbahn die fernsten Standorte, die uns zunächst zu gebote stehen, und diese Linie verhält sich zur Größe des Erdhalbmessers wie 48065 : 1. Eine solche Größe, sollte man meinen, müsse beträchtlich genug sein, um eine sehr in die Augen fallende scheinbare Ortsveränderung der Sterne hervorzurufen, und allerdings ist dies der Fall hinsichtlich des scheinbaren Ortes der Planeten. Man pflegt diese Ortsveränderung mit dem Namen der jährlichen Parallaxe zu bezeichnen. Gewöhnlich versteht man unter dieser aber den Winkel, unter welchem von einem Gestirne aus der Halbmesser der Erdbahn erscheint. Dieser Winkel beträgt für Uranus mehr als 3°, für den Mars sogar fast 42°. Bei den Fixsternen indessen ist es erst in der neuesten Zeit gelungen, und zwar mit Hilfe der sehr vervollkommneten Meßinstrumente, einige sehr kleine jährliche Parallaxen zu bestimmen. Man ist dadurch zu dem Resultate gekommen, daß die Fixsterne in ungeahnten und unvorstellbaren Fernen von uns sich befinden, und daß der nächste nicht unter 4 billionen geogr. Mln. von uns entfernt ist, eine Entfernung, die selbst das schnelle Licht, das in jeder Sekunde fast 42000 Mln. macht, erst in drei ganzen Jahren zu durchlaufen vermag. Wie klein sind gegen solche Fernen unsere irdischen Räume! Doch wollen wir hier bei diesem uns mit Staunen erfüllenden Gegenstande nicht länger verweilen, sondern Näheres darüber für den folgenden Abschnitt aufsparen.

Zweites Kapitel.

Speciellere Besprechung der Fixsterne.

I. Funkeln, Farbe, Vertheilung etc. der Fixsterne.

Die Mehrzahl der Sterne, welche den nächtlichen Himmel schmücken, sind Fixsterne; sie verleihen ihm eine immer gleiche Zierde und drücken ihm seinen durch viele Jahrtausende sich gleichbleibenden Charakter auf, während die Planeten und Kometen durch ihr mehr oder weniger plötzliches Erscheinen die erhabene Einförmigkeit angenehm unterbrechen.

1. **Das Funkeln der Fixsterne.** Schon weiter oben (S. 56) sind die wichtigsten Eigenschaften der Fixsterne, durch welche sie sich namentlich von den Planeten unterscheiden, angegeben worden. Es mögen hier noch einige eingehendere Bemerkungen ihren Platz finden. Eigenthümlich ist den meisten helleren Fixsternen in unseren Breiten das sogenannte Funkeln oder Scintilliren. Die Hauptursache dieser schönen Eigenschaft — denn durch sie kommt ein angenehmer Wechsel in die Einförmigkeit des Himmels, da man stets neue Lichter aufglimmen zu sehen glaubt — ist nach *Arago* in der Veränderlichkeit der Atmosphäre zu suchen. Die verschiedenen und stets wech-

selnden Dichtigkeitsverhältnisse in den oberen Regionen derselben, sowie der veränderliche Zustand der Luft in Beziehung auf Wasserdampf muß auf das Brechungsvermögen derselben einen großen Einfluß üben, namentlich in den mittleren Breiten, wo wegen der unregelmäßigen und oft veränderten Windrichtung der Zustand der Atmosphäre ein sehr veränderlicher ist. Dadurch wird das Bild eines Fixsterns fortwährend auf einen andern Punkt gerückt und so ein Erlöschen und Wiederaufglimmen hervorgerufen, und dies muß um so leichter geschehen, als die Fixsterne wegen ihrer unermeßlichen Entfernung von uns nur als leuchtende Punkte sich zeigen und selbst in stark vergrößernden Fernröhren sich kaum als Scheiben darstellen lassen. Bei den Planeten hingegen, die als leuchtende Scheiben erscheinen, bewirkt eben dieser Umstand eine größere Stetigkeit des Bildes, indem mehrere Punkte zugleich leuchten und nicht alle in demselben Sinne durch die Brechung abgelenkt werden. In den Tropen, wo viel regelmäßigere Witterungsverhältnisse sich finden und namentlich der Wasserdampf wegen der größeren Wärme vollkommener aufgelöst ist als bei uns, zeigen sich auch die Fixsterne meist mit ruhigem, planetarischem Lichte, und nur in geringeren Höhen über dem Horizont, oder beim Herannahen der Regenzeit macht sich zuweilen ein Funkeln bemerklich. Uebrigens aber scheint das Funkeln doch nicht ausschließlich durch atmosphärische Zustände bedingt zu sein, da es bei verschiedenen und selbst gleich hellen Sternen in verschiedenem Grade bemerkt wird; so funkelt die helle Wega in der Leier weniger als Arkturus, Prokyon und Sirius. Es scheint also auch die Art des den Sternen eigenen Lichtprozesses von Einfluß auf die Erscheinung zu sein. Das Funkeln würde überdies noch merklicher sein, wenn nicht das Auge einen empfangenen Lichtreiz noch einige Zeit nachempfände. Man würde sonst den Stern wirklich auf einige Momente verschwinden sehen. Wie *Respighi* gezeigt hat, wird aber das Funkeln der Sterne zum großen Theil auch durch die Rotation der Erde und ihrer Atmosphäre bewirkt.

Als von dem Funkeln verschieden ist der dabei sich zeigende Farbenwechsel zu betrachten, der als eine Interferenz-Erscheinung angesehen werden muß.

2. Eintheilung der Fixsterne nach ihrer scheinbaren Größe, Zahl derselben. Was die scheinbare Größe der Fixsterne betrifft, so ist auch darüber bereits einiges gesagt worden. Man theilt darnach die Sterne in solche 1., 2., 3. Größe. Für eine mittlere Sehkraft sind nur Sterne 1—6. Größe, für sehr gute Augen noch Sterne 7. Größe sichtbar; alle andern Sterne sind telescopische Sterne. Gewöhnlich giebt man als Zahl der Fixsterne 1. Größe am ganzen Himmel 15 an; jedoch sind hierüber verschiedene Astronomen verschiedener Meinung. So nimmt Sir *John Herschel* 17, *Mädler* 18 und *Rümker* sogar 20 an. Diese Verschiedenheit der Ansicht kann bei der großen Schwierigkeit einer genauen Schätzung der Lichtstärke nicht befremden. Nach *Herschel* folgen die Fixsterne 1. Größe wie in folgender Uebersicht auf einander:

1. Sirius, der Hauptstern α im Sternbilde des großen Hundes
2. η Argus, ein veränderlicher Stern
3. Canopus, Stern α im Schiff Argo, bei uns unsichtbar
4. α Centauri, ebenfalls unsichtbar für uns
5. Arkturus, der hellste Stern α im Bärenhüter
6. Rigel, Stern β im Orion
7. Capella, » α im Fuhrmann
8. Wega, » α in der Leier
9. Prokyon, » α im kleinen Hunde
10. Beteigeuze, » α im Orion
11. Achernar, » α im Eridanus, bei uns unsichtbar
12. Aldebaran, » α im Stier
13. β Centauri, bei uns unsichtbar
14. α des südlichen Kreuzes, desgleichen unsichtbar
15. Antares, Stern α im Skorpion
16. Ataïr, » α im Adler
17. Spica, » α in der Jungfrau.

Zu diesen rechnen andere Astronomen noch den Regulus, α des großen Löwen, Pollux, β in den Zwillingen, Deneb, α im Schwan u. a. m.

Nach *Argelander* in Bonn beträgt die Zahl der Fixsterne:

2.,	3.,	4.,	5.,	6.,	7.,	8.,	9. Größe
c. 65	190	425	1100	3200	13000	40000	142000.

Die Zahl der Sterne 1. bis 9. Größe beträgt daher für den ganzen Himmel in runder Summe 200000. Am nördlichen Himmel allein hat derselbe Beobachter gefunden Fixsterne:

1.—1,9	2.—2,9	3.—3,9	4.—4,9	5.—5,9	6.—6,9	7.—7,9	8.—8,9	9.—9,5 Größe
10	37	128	310	1016	4328	13593	57960	237544,

zusammen 314926. Nimmt man an, daß der südliche Himmel ebenso sternreich ist als der nördliche, so würde die Gesamtzahl aller Sterne 9.—10. Größe 630000 betragen. Aus diesen kurzen Angaben ergiebt sich, wie die Zahl der Fixsterne geringerer Größe außerordentlich rasch wächst, und zwar ungefähr derart, daß die folgende geringere Klasse c. 3mal so viel Sterne zählt als die vorhergehende höhere Klasse. Zugleich folgt aber auch daraus, daß mit bloßen Augen am ganzen Himmel Sterne 1. bis 6. Größe nur 5000—6000 gesehen werden können, ein Resultat, das jeden überrascht, da der Anblick des Himmels in einer dunklen, sternenhellen Winternacht mehr, fast unzählige Sterne zu zeigen scheint. Indessen hat es mit der obigen Anzahl nach genauen Sternkarten seine Richtigkeit, und diese Zahl von Sternen wird nicht einmal in allen Gegenden der Erde, sondern nur am Aequator gesehen, wo der Blick des Beschauers von Pol zu Pol reicht. In Polargegenden dürfte die genannte Zahl sich auf die Hälfte reduciren, und in Berlin sind nach *Humboldt* 4022, nach *Argelander* nur 3300 Sterne mit bloßen Augen sichtbar.

Wenn man aber die telescopischen Sterne mit berücksichtigt, so kommt man zu außerordentlich großen Zahlen. An gewissen Stellen des Himmels,

z. B. in der Milchstraße, stehen die Sterne so dicht gedrängt, daß sie nicht zu zählen sind, und manche Nebelflecke lösen sich in sehr vergrößernden Fernröhren ebenfalls in Tausende von Sternen auf. *Herschel* d. ä. sah einst in einem Raum von 30 Quadrat-Graden in der Gegend der Keule des Orion über 50000 Sterne, und durch seinen 20füßigen Reflektor passirten in 41 Zeitminuten c. 258000 Sterne. Nach *Struve's* Schätzung dürften in dem 20füßigen *Herschel*schen Spiegeltelescop am ganzen Himmel 20374000 Sterne sichtbar sein, und Sir *William Herschel* ist geneigt, die Zahl der in seinem 40füßigen Spiegeltelescop allein in der Milchstraße sichtbaren Sterne auf 18 mill. zu schätzen. Die Zahl aller vorhandenen Sterne übersteigt somit alle Vorstellung. Wenn man nach dem Gesagten aber annehmen muß, daß wohl an jedem Punkte des Himmels ein Stern sich befinde, so muß es eigentlich befremden, daß uns bei der ungeheuren Menge des Sternenlichtes der Himmel nicht im Sonnenglanze leuchtet. *Olbers* hat hierfür eine Erklärung durch die Annahme versucht, daß der Weltenraum zwischen uns und den Sternen nicht leer, sondern mit einem feinen Stoffe, dem schon genannten Aether, erfüllt sei, der der Fortpflanzung des Lichtes Widerstand leiste und endlich dieselbe ganz aufhebe, so daß also die Lichtwellen, ähnlich den im Wasser erregten Wellen und den Schallwellen in der Luft, allmählich kleiner und kleiner werden bis zum endlichen Aufhören. Daß die beobachtete Verkürzung der Umlaufszeit des *Encke*schen Kometen ebenfalls und noch überzeugender für das Vorhandensein eines den Weltenraum füllenden, Widerstand leistenden Fluidums spricht, ist bereits an anderer Stelle, bei Besprechung des genannten Kometen erwähnt worden.

3. **Farbe der Fixsterne.** Schon mit bloßen Augen nimmt man eine Verschiedenheit der Farbe an den Fixsternen wahr, und diese Verschiedenheit trägt nicht wenig dazu bei, die Pracht des gestirnten Himmels zu erhöhen. Es scheinen alle Regenbogenfarben am Himmel vertreten zu sein, vorzüglich jedoch die rothe und die blaue. Wie aber aus der Vergleichung der jetzigen Farbe der Fixsterne mit den aus früheren Zeiten uns aufbewahrten Angaben in dieser Beziehung folgt, ist die Farbe bei einem und demselben Fixstern nicht immer dieselbe geblieben, sondern es scheint auch noch gegenwärtig ein Wechsel in der Farbe stattzufinden, der auf räthselhafte Veränderungen im Lichtprozesse schließen läßt. So sind gegenwärtig entschieden weiß: Sirius im großen Hunde, Wega in der Leier, Deneb im Schwan, Regulus im gr. Löwen, Spica in der Jungfrau u. a. m. Ptolemäus indessen zählt Sirius unter die feuerröthlichen Sterne, so daß dieser Stern seine Farbe gewechselt haben muß. Gelblich sind gegenwärtig: Prokyon im kleinen Hunde, der Polarstern, β des kleinen Bären, Pollux in den Zwillingen u. a. m. Röthlich hingegen erscheinen: Beteigeuze im Orion, Arkturus im Bärenhüter, Aldebaran im Stier, Antares im Skorpion. Der durch seinen Wechsel in Farbe und Lichtstärke berühmte Stern η Argus, dessen weiter unten noch nähere Erwähnung geschehen wird, war bis 1843 noch röthlich gelb, 1850 indessen zeigte er sich dunkler roth als Mars. Uebrigens zeigen die meisten

veränderlichen Sterne eine röthliche Farbe, ohne daß jedoch diese Farbe eine nothwendige Bedingung der Veränderlichkeit wäre. Aber nicht bloß unter den mit unbewaffneten Augen sichtbaren Sternen giebt es verschiedenfarbige, sondern auch unter den telescopischen wird eine große Mannigfaltigkeit der Farbe wahrgenommen. So sah *John Herschel* am Cap der guten Hoffnung einst eine Gruppe von 76 rubinfarbigen Sternen 7. bis 9. Größe, und einige erschienen fast wie Blutstropfen; in einer andern Gruppe sah dieser große Beobachter dagegen viele Sterne in allen Farben des Regenbogens erglänzen. Daß diese Farbenverschiedenheit nicht in atmosphärischen Verhältnissen liegen kann, sondern in den Lichtprozessen der Sterne selbst begründet sein muß, ist mehr als wahrscheinlich.

4. **Vertheilung der Fixsterne.** Achtet man auf die Vertheilung der Fixsterne, so erkennt man für Sterne 1. bis 3. und 4. Größe keine besonders auffällige Anhäufung derselben an bestimmten Stellen des Himmels, sondern man findet Sterne der genannten Größen ziemlich gleichmäßig über den Himmel vertheilt. Zieht man aber Sterne geringerer Größe mit in die Betrachtung hinein, so zeigt sich eine merkwürdige, für unsere Vorstellung vom Weltenbau wichtige Thatsache. Nach den Schätzungen (Aichungen), welche die beiden *Herschel* über die Vertheilung der Fixsterne angestellt haben, nimmt nämlich die Zahl der Sterne 5. und 6. bis zu Sternen 15. und 16. Größe mit der Annäherung an die Milchstraße ziemlich regelmäßig zu, und zwar von Punkten aus, die von der Milchstraße ungefähr 90° entfernt sind. Diese Gegenden nennt man die Pole der Milchstraße; der Nordpol derselben liegt in $12^h\ 47'$ *AR* und $+$ *D* 27^0 bei dem Haupthaar der Berenice nördlich von der Jungfrau, und der Südpol in $0^h\ 47'$ *AR* und $-$ *D* 27^0, etwas nördlich vom Sternbilde der Fische. Diese Pole der Milchstraße sind die sternärmsten Gegenden des ganzen Himmels, und von hier aus nimmt mit der Annäherung an die Milchstraße die Zahl der Sterne erst langsam, zuletzt aber immer schneller zu. So beträgt z. B. in Entfernungen von 0, 30, 66, 75 und 90° von dem Nordpol der Milchstraße die Zahl der im Felde eines Fernrohrs, dessen Gesichtsfeld 15′ Durchmesser hat, im Durchschnitt gesehenen Sterne resp. 4,15; 6,52; 17,68; 30,30 und 122,00; doch ist nach der südlichen Halbkugel zu ein Uebergewicht über den nördlichen Himmel bemerkbar, wie überhaupt jener die größte Zahl schöner, großer Sterne aufzuweisen hat. *Struve* hat durch Vergleichung der vorhandenen Aichungen gefunden, daß in der Mitte der Milchstraße durchschnittlich 29,4mal so viel Sterne stehen, als an den Polen derselben, was natürlich nicht ausschließt, daß die Sterndichtigkeit in der Milchstraße selbst sehr ungleich ist. Jene oben bemerkte Zunahme der Sterndichtigkeit trifft aber vornehmlich die telescopischen Sterne.

5. **Beschreibung der Milchstraße.** Nach dem Gesagten scheint die Milchstraße in der That nichts, als der in einen Lichtschimmer zusammenfließende Glanz unzähliger Sterne zu sein, und durch sehr starke Fernröhre erblickt man in ihr millionen von Sternen.

Was zunächst die Lage der Milchstraße betrifft, so bildet sie am Himmel fast einen größten Kreis, der gegen den Aequator unter einem Winkel von 63° geneigt ist, und denselben einerseits in $6^h\ 54'\ AR$, im Sternbilde des Einhorns, zwischen Prokyon und Sirius, andererseits in $19^h\ 15'\ AR$, im Antinous durchschneidet. Die durch die Milchstraße entstehenden Theile des Himmels verhalten sich zu einander wie 8 : 9, und liegt in der kleineren Hälfte der Frühlingspunkt.

Die Breite der Milchstraße ist in verschiedenen Theilen derselben sehr verschieden und schwankt zwischen 4° bis 22°; doch erscheint dieselbe im Fernrohr 6° bis 7° breiter als dem unbewaffneten Auge. Die geringste Breite hat sie in der Nähe des südlichen Kreuzes (s. Tafel IV.), die größte zwischen dem Schlangenträger und Antinous, wo sie getheilt erscheint. Diese Theilung erstreckt sich fast auf $^3/_5$ der ganzen Länge, so daß also nur $^2/_5$ derselben ungetheilt sind. Der Theilungen sind übrigens mehrere; die wichtigste beginnt nach *John Herschel* bei α Centauri und geht bis zum Schwan, wo die Wiedervereinigung stattfindet. Außerdem sendet die Milchstraße noch mehrere Aeste seitlich aus, die sich theils plötzlich, theils allmählich verlieren.

Was den Inhalt der Milchstraße betrifft, wie er in sehr starken Fernröhren wahrgenommen wird, so ist derselbe sehr mannigfaltig. In manchen Gegenden zeigt sie einen über weite Flächen ausgebreiteten, gleichmäßigen Lichtschimmer, an andern sehr glänzende Lichtpunkte, durch außerordentlich sternarme Räume von einander geschieden; an manchen Stellen ist kaum ein Stern zu entdecken, so daß man wie durch Oeffnungen und Spalten in den großen Weltenraum hineinzuschauen glaubt. Regionen, die mit kleinen Sternen besetzt sind, wechseln mit solchen, in denen Sterne bedeutender Größe nahe bei einander stehen. Die größte Mannigfaltigkeit zeigt die Milchstraße zwischen dem Altar, dem Schwanz des Skorpions und dem Bogen des Schützen, die größte Oede beim Einhorn und Perseus. Die meisten großen Sterne stehen in der südlichen Hemisphäre, nahe der Milchstraße, und zwar in den Sternbildern: Orion, großer Hund, Skorpion, Centaur und Kreuz. An vielen Stellen scheint das Fernrohr die obere Grenze der Sternschicht erreicht zu haben, da zahllose Sterne sich auf ganz schwarzem Grunde abheben. Merkwürdig ist noch, daß, obgleich die Milchstraße eine sehr große Zahl von unregelmäßig geformten Sternhaufen zeigt, sie an regelmäßigen ungewöhnlich arm ist; diese liegen vielmehr gewöhnlich fern von ihr, am häufigsten in der Nähe der Pole der Milchstraße.

6. **Veränderliche Sterne.** Daß Fixsterne, wenn auch erst nach langen Zeitperioden, ihre Farbe wechseln, ist bereits erwähnt. Es giebt indes eine nicht unbedeutende Zahl von Fixsternen, die in ganz eigenthümlicher Weise, mehr oder weniger regelmäßig, einen Wechsel der Lichtstärke zeigen. Man pflegt solche Sterne veränderliche Sterne zu nennen. In der neueren Zeit hat man der Beobachtung derselben eine besondere Sorgfalt zugewendet,

um den Verlauf des Wechsels im Lichtprocesse möglichst genau festzustellen und auf diese Weise zur wahrscheinlichen Ursache der Erscheinung zu gelangen.

Durch genaue Beobachtungen hat sich herausgestellt, daß bei vielen veränderlichen Sternen eine Periodicität im Lichtwechsel stattfindet, so daß sich nach einer längeren oder kürzeren Zeit ein bestimmter Verlauf desselben wiederholt. Bei anderen Sternen haben sich Perioden der Perioden ergeben, indem die Maxima und Minima der Lichtstärke unter sich nicht gleich waren, sondern mehrere Maxima und Minima in bestimmter Folge sich nachweisen ließen. Bei noch andern Sternen endlich hat es noch nicht gelingen wollen, eine Regelmäßigkeit in dem Wechsel der Lichtstärke zu entdecken. Im 3ten Bande des Kosmos hat *Alex. v. Humboldt* ein Verzeichnis von 24 zuverlässig veränderlichen Fixsternen nach *Fr. Argelander* gegeben, welcher Quelle wir die wichtigsten der folgenden Bemerkungen entlehnen. Wer sich specieller über die veränderlichen Sterne belehren will, den verweisen wir auf dieses Verzeichnis, auf *Littrows* Wunder des Himmels und *Mädlers* populäre Astronomie.

1) Einer der merkwürdigsten veränderlichen Sterne, der deshalb auch Mira, d. i. der Wunderbare, genannt wird, ist der Stern *o* im Halse des Walfisches, dessen Veränderlichkeit schon 1639 erkannt wurde. Er gehört übrigens zu den Sternen, bei denen sich Perioden der Perioden ergeben haben, indem die verschiedenen Maxima und Minima durchaus verschieden sind. Er sinkt zur Zeit des Minimums zu einem Stern 11. bis 12. Größe herab, wächst aber zuweilen fast zu einem Sterne der 1. Größe an, der etwa Aldebaran an Glanz nahekommt, während er zu andern Zeiten sein Maximum schon als Stern 4. Größe erreicht. Zu- und Abnahme des Lichtes sind aber ziemlich unregelmäßig. Aus mehreren Beobachtungen ergeben sich 331 Tg. 20 Stdn. als Zeit der ganzen Periode, in der sich alle Veränderungen zu wiederholen pflegen.

2) Ein anderer Stern, dessen Veränderlichkeit ebenfalls schon sehr früh, 1669, erkannt worden ist, und der die kürzeste aller Perioden von nur 2 Tg. 20 Stdn. 49 Min. zeigt, ist β des Perseus, auch Algol genannt. Er erreicht sein Minimum bei der 4. Größe und wächst bis zu einem Sterne 3. bis 2. Größe an. In dieser letzteren bleibt er 2 Tg. 13 Stdn. lang, und in 7—8 Stdn. nimmt er darauf bis zur 4. Größe ab. Hat er vom Minimum an 1 Std. lang zugenommen, so verbleibt er c. 1 Std. in gleicher Helligkeit, um darauf zum Maximum anzuwachsen. Nach *Argelander* aber hat eine Verkürzung der Periode stattgefunden, über deren genaueren Werth folgende Beobachtungen noch entscheiden werden.

3) Eine ebenfalls kurze und ziemlich gleichförmige Periode hat η des Adlers; denn sie beträgt nur 7 Tg. 4 Stdn. 13 Min. 53 Sek. Im Minimum ist er ein Stern 5. bis 4. Größe, und nimmt dann erst langsam, darauf rascher und endlich wieder langsamer an Lichtstärke zu, bis er nach 2 Tg. 9 Stdn. sein Maximum als Stern 3. bis 4. Größe erreicht hat, von wo ab er ungleichmäßig wieder bis zum Minimum abnimmt.

4) Stern β der Leier hat zwei Maxima und zwei Minima, die sich in-

dessen nicht sehr von einander unterscheiden; er schwankt nämlich nur zwischen 3. bis 4., und 4. bis 5. Größe. Vom kleinsten Minimum steigt er in 3 Tg. 5 Stdn. zum ersten Maximum, von dem er in 3 Tg. 3 Stdn. zum zweiten Minimum abnimmt. Von hier ab wächst er in 3 Tg. 2 Stdn. zum zweiten Maximum, um dann in 3 Tg. 12 Stdn. zur geringsten Helligkeit herabzusinken. Die ganze Periode betrug 1840 12 Tg. 21 Stdn. 46 Min. 40 Sek. Diese Dauer war früher kürzer, im Jahre 1784 um $2^1/_2$ Stdn., 1817 und 1818 um c. 1 Std., und gegenwärtig ist wieder eine Verkürzung derselben beobachtet worden.

5) Stern δ des Cepheus hat eine Periode von 5 Tg. 8 Stdn. 49 Min. und zeigt unter allen veränderlichen Sternen die größte Regelmäßigkeit. Seine Helligkeit schwankt zwischen 4. bis 3., und 5. bis 4. Größe.

Diesen Sternen ließen sich noch viele hinzufügen (in *Littrows* Kalender für alle Stände für 1866 sind nach *Schönfeld* 109 verzeichnet), bei denen die Veränderlichkeit bestimmt beobachtet ist, und noch mehrere, bei denen sie nur vermuthet wird, ohne bis jetzt genau bestimmt worden zu sein. Unter diesen Sternen ist der berühmteste η Argus, im herrlichen Sternbilde des Schiffes, der »Freude des südlichen Himmels«, das in unseren Breiten unsichtbar ist. *Halley* fand ihn 1677 von 4., *Lacaille* 1751 von 2. Größe, von welcher er wieder zur 4. Größe zurückging. Nach vielen Schwankungen in der Lichtstärke, die jedoch seit 1822 nicht unter die eines Sternes 2. Größe herabsank, ist jetzt der Stern fast dem Sirius gleich. Ob es später gelingen wird, durch fortgesetzte Beobachtung eine Periode des Lichtwechsels zu entdecken, muß dahingestellt bleiben.

Solche Veränderungen des Sternlichtes scheinen überhaupt häufiger zu sein, als man glaubt, so daß der Himmel mit seinen Gestirnen dem aufmerksamen Beobachter nicht immer das einförmige Bild, wie dem flüchtigen Beschauer darbietet, sondern sich ihm als eine Welt des Werdens und Gestaltens zeigt, in der räthselhafte Processe vor sich gehen.

Bemerkenswerth ist es noch, daß die meisten veränderlichen Sterne roth sind, doch giebt es deren auch weiße; außerdem sind Sterne aller Größen veränderlich, häufiger jedoch die der geringeren Klassen.

Welche Ursachen aber mögen der merkwürdigen Veränderlichkeit der Sterne zu grunde liegen? Liegt die mehr oder weniger regelmäßige Zu- und Abnahme der Helligkeit in regelmäßig wiederkehrenden Bedingungen der Belebung des Lichtprocesses, oder sind vielleicht jene Fixsterne, wie unsere Sonne, in Rotation begriffen, und kehren sie uns dann verschieden hell leuchtende Theile ihrer Oberfläche zu? Man denke an die Sonnenflecke! Oder bewegen sich um die Fixsterne, wie um unsere Sonne, Planeten, die uns zu Zeiten einen Theil des Sternlichtes entziehen? Haben Verkürzung oder Verlängerung der Perioden ihre Ursache, wenigstens zum Theil, in der wegen der Fortbewegung des ganzen Sonnensystems veränderten Entfernung der Erde von den betreffenden Sternen? Wahrscheinlich ist dies nicht, da jene Bewegung im Vergleich zur ungeheuren Entfernung der Fixsterne zu langsam ist. Bis jetzt ist es schwer, auf die ge-

stellten Fragen eine bestimmte Antwort zu geben, und es ist fraglich, ob es jemals möglich werden wird.

7. **Neu erschienene und verschwundene Sterne.** Nicht weniger räthselhaft sind die neu erschienenen und die verschwundenen Sterne. Es ist nämlich eine unbestrittene Thatsache, daß in geschichtlicher Zeit, wenn auch nur selten, mehr oder weniger plötzlich Sterne erschienen sind, die früher nicht am Himmel standen, während andere, früher gesehene Sterne sich den Blicken der Menschen gänzlich entzogen haben und unsichtbar geworden sind. Unter den neu erschienenen Sternen ist der zur Zeit *Tycho de Brahe's* erschienene Stern der berühmteste. Der genannte Astronom sah ihn eines Abends zu seinem Erstaunen in der Cassiopeja nahe dem Zenith, ohne zuvor von ihm gewußt zu haben. In Deutschland war selbst den Fuhrleuten der glänzende Stern aufgefallen, und sie haben die Astronomen auf denselben erst aufmerksam gemacht. Er erschien vollkommen wie ein glänzender Fixstern, ohne Schweif und auch ohne Bewegung, obgleich ihn *Tycho* fast ein ganzes Jahr hindurch beobachtete. Er funkelte stärker als andere Fixsterne, übertraf selbst Sirius an Glanz und war etwa mit Venus zur Zeit ihres größten Glanzes zu vergleichen. Scharfsichtige Menschen sahen ihn selbst zu Mittage am Himmel. Im December 1572 fing er an schwächer zu werden; im Januar 1573 war er weniger hell als Jupiter; im April desselben Jahres erschien er als Stern 2., im Juli und August 3. und im October und November gar nur 4. Größe. Zu Anfange des folgenden Jahres zeigte er sich als ein Stern 5. bis 6. Größe, und im März war er bereits für das unbewaffnete Auge verschwunden, nachdem er 17 Monate hindurch geleuchtet. (Das Fernrohr war noch nicht erfunden.) Außer der Lichtstärke hatte er auch die Farbe gewechselt; war er erst weiß gewesen, so war er später erst gelb und endlich roth geworden. In der letzten Zeit der Sichtbarkeit zeigte er sich wieder in weißlichem Lichte.

Ein ähnlicher, sehr heller Stern erschien nach chinesischen Angaben, und zwar nach dem Verzeichnis des *Ma-tuan-lin*, im Jahre 173 n. Chr. Geb. zwischen α und β des Centauren, und verschwand erst nach 8 Monaten.

Im Jahre 389, zur Zeit des Kaisers *Honorius*, erschien in der Nähe Ataïrs im Adler ein neuer Stern, ähnlich der Venus, der nach 3 Wochen verschwand.

Zu Anfang des 9. Jahrhunderts ward von arabischen Astronomen ein neuer Stern im Skorpion gesehen, dessen Licht dem des Mondes in den Vierteln geglichen haben soll. Nach 4 Monaten war er verschwunden.

Im Jahre 1012, so erzählt ein Mönch von St. Gallen, erschien im Widder ein neuer Stern, »der die Augen blendete und der bald größer, bald kleiner erschien.«

Nach dem genannten Verzeichnisse des *Ma-tuan-lin* erschien 1578 ein Stern, groß wie die Sonne.

Ein anderer sehr berühmter Stern ist der von verschiedenen Astronomen, unter andern auch von *Kepler* 1604 im rechten Fuß des Schlangenträgers ge-

sehene. Er übertraf alle Fixsterne 1. Größe, nur nicht Venus, und erregte durch sein starkes Funkeln die Verwunderung aller Beobachter. Am Anfange des folgenden Jahres nahm er an Glanz ab; im März war er nur noch 3. Größe, und zu Anfange 1606 verschwand er spurlos. In neuester Zeit, am 28. April 1848, entdeckte *Hind* auf der Privat-Sternwarte zu Bishop einen neuen, röthlich gelben Stern im Schlangenträger, der unbeweglich sich zeigte und unter allen neuen Sternen seiner Position nach am genauesten bestimmt worden ist. Er war 1850 kaum 11. Größe und dem Verschwinden nahe. Auch die neueste Zeit hat uns ein Beispiel eines (wenigstens für das freie Auge) neu erschienenen Sternes gebracht. Am 13. Mai 1867 entdeckten *Courbebaisse* in Rochefort und *Schmidt* in Athen im Sternbilde der nördlichen Krone, unweit des Sternes ε, einen Stern 2.—3. Größe, der sicher am 11. Mai noch nicht sichtbar war. Am 15. Mai war er bereits zur 4., am 20. zur 6. und am 23. zur 8. Größe herabgesunken. Seine Position stimmt mit dem Sterne Nr. 2765 des *Argelander*schen Katalogs, der hier als 9.—10. Größe verzeichnet ist. Die Anführung dieser besonders wichtigen neu erschienenen Sterne möge hier genügen. Vollständigere Angaben findet man an den angeführten Orten.

Das Erscheinen solcher neuen Sterne mußte natürlich das Interesse der Astronomen sehr in Anspruch nehmen und munterte zur Anlegung und Verbesserung von Sternkarten und Sternkatalogen auf, um gewiß zu sein, daß ein Stern wirklich neu und noch nicht gesehen worden sei. In dieser Beziehung hat sich die Berliner Akademie durch Herausgabe ihrer sehr genauen Sternkarten ein großes Verdienst erworben.

Neue Sterne sind übrigens verhältnismäßig selten erschienen, wohl 7 mal so selten als Kometen; denn von 1500 bis 1800 sind nur 8 neue Sterne gesehen worden. Aus den vorhandenen Verzeichnissen ergeben sich für 2000 Jahre c. 20 bis 22 neue Sterne. Sie glimmen meist plötzlich auf, ohne allmählich an Lichtstärke zuzunehmen. Was den Ort betrifft, an dem sich neue Sterne gezeigt haben, so ist es bemerkenswerth, daß sie meist nahe ($^4/_5$ derselben) oder in der Milchstraße erschienen. Weniger zuverlässig, als das plötzliche Auflodern neuer Sterne, ist das Verschwinden früher gesehener Sterne bekannt. Zeigen sich in den Lichtprocessen der Fixsterne so große Verschiedenheiten, wie wir oben gesehen haben, so kann die Leuchtfähigkeit auch wohl eine Zeit lang infolge besonderer Verhältnisse aufhören, um vielleicht nach längeren oder kürzeren Perioden unter günstigeren Bedingungen wieder zu beginnen. Man ist nicht gerade genöthigt, in einem verschwundenen Stern eine für immer erloschene Welt zu sehen. Die Spektral-Analyse ist vielleicht im stande, auch über diesen Gegenstand noch einiges Licht zu verbreiten. Beachtenswerth ist zunächst der Umstand, daß *Wolf* und *Rayet* zu Paris in dem Spektrum des obigen Sternes von 1867 helle Linien gesehen haben, welche nur durch die Verbrennung von Gasen zu erklären wären. *Huggins* sah ein solches Gasspektrum über dem eigentlichen Fixsternspektrum mit dunklen Linien. Es liegt hier nahe, an großartige Gasexplosionen zu denken, wie sie

in der Jugendzeit unserer Erde auch stattgefunden haben müssen. Ist der in Rede stehende Fixstern vielleicht nahe daran, zur Planetennatur herabzusinken und seine Leuchtkraft infolge fortgesetzter Abkühlung ganz einzubüßen?

II. Von der verschiedenen Gestaltung der Fixsterne; Doppelsterne, Sternhaufen und Nebelflecke.

Die genaue Durchmusterung des gestirnten Himmels mit mächtigen, raumdurchdringenden Fernröhren hat uns mit interessanten Gebilden desselben bekannt gemacht und dadurch unsere Kenntnis von dem Bau der Welt und den dasselbe zusammenhaltenden Kräften in hohem Grade vermehrt.

1. **Von den Doppelsternen.** In dieser Beziehung sind die doppelten oder mehrfachen Fixsterne von ganz besonderem Interesse. Schon mit bloßen Augen sieht man in recht dunklen Nächten zwei oder mehrere Sterne nahe beisammenstehen; in Fernröhren aber vermehrt sich die Zahl solcher Sterne außerordentlich. Ein solches Nahesein der Sterne kann aber entweder nur scheinbar sein, indem sie ungefähr in derselben Gesichtslinie liegen, während sie in Wirklichkeit billionen von Meilen von einander entfernt sein können, und in diesem Falle nennt man sie optische Doppelsterne; oder sie stehen wirklich einander verhältnismäßig nahe und in einem Abhängigkeits-Verhältnisse zu einander, in welchem Falle man sie physische Doppelsterne nennt. Bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts kannte man nur 20 solcher Sternpaare, die weniger als 32″ von einander entfernt sind; gegenwärtig aber ist die Zahl der bekannten physischen und optischen Doppelsterne für die ganze Himmelskugel c. 6000, und diese außerordentliche Vermehrung der Zahl verdanken wir vornehmlich dem unermüdlichen Eifer der beiden *Herschel* und *Struve's*. Als der erste absichtliche Beobachter dieser interessanten Sternpaare ist *Christ. Mayer* zu Mannheim zu nennen, der gegen 80 Doppelsterne beobachtet und beschrieben hat. Das Meiste über diese Sterne aber verdanken wir Sir *William Herschel*, dem Vater, der sich 25 Jahre lang der Beobachtung derselben widmete. Er entdeckte fast allein 846 Doppelsterne und war der erste, welcher das Walten der Anziehungskräfte, die den Gang der Erde und aller Planeten um die Sonne regeln, auch in jenen ungemessenen Fernen zwischen selbstleuchtenden Sonnen nachwies. Nach ihm trat sein Sohn, Sir *John Herschel*, von 1819—1838, in die Fußtapfen seines Vaters und bereicherte durch seine fünfjährigen Beobachtungen am Cap der guten Hoffnung die Wissenschaft mit der Kenntnis von 2000 neuen Doppelsternen.

Ein sehr großes Verdienst um diese Sterne hat sich ferner *W. Struve*, der Vater, in Dorpat erworben. Er publicirte im Jahre 1820 ein Verzeichnis von 796 Doppelsternen und 1824 einen neuen Katalog mit 3112 dieser Sterne in Abständen von weniger als 32″, von denen kaum $^1/_6$ bekannt war. Er

untersuchte zu dem Ende nicht weniger als 120000 Sterne. Ein drittes Verzeichnis im Jahre 1837 brachte aufs neue 2787 Doppelsterne. Von den c. 6000 gegenwärtig bekannten sind nach *Mädler* c. 650, d. i. $^1/_9$, als sich bewegend, mithin als physische Doppelsterne erkannt worden; nach *Struve's* neuesten Untersuchungen aber dürfte die Zahl der einfachen Sterne die der Doppelsterne nur 3, ja vielleicht nur 2 mal übertreffen.

Nach dem jetzigen Stande der Sache scheint die größte Zahl der Doppelsterne auf der nördlichen Halbkugel des Himmels, und zwar in der Andromeda, dem Bootes, großen Bären, Luchs und Orion sich zu befinden; die südliche Halbkugel des Himmels außerhalb des südlichen Wendekreises ist nach *S. J. Herschel* bedeutend ärmer daran.

Merkwürdig und zugleich interessant ist der bei Doppelsternen häufig hervortretende Unterschied der Farbe der beiden Sterne. *Struve* fand, daß von 600 Doppelsternen bei 375 Paaren beide Sterne gleich hell und gleichfarbig, und zwar weiß waren. Bei 101 war zwar dieselbe Farbe, aber doch eine Verschiedenheit der Lichtstärke zu bemerken, und bei 120 Paaren, d. i. bei $^1/_5$ der ganzen untersuchten Zahl, waren beide Sterne von ganz verschiedener Farbe. In diesem Falle kamen am häufigsten gelb und blau, rothgelb und grün vor. Wahrscheinlich sind aber bei vielen Sternen diese Farben nicht wirklich objectiv vorhanden, sondern die Farbe des weniger leuchtenden Sternes nur die Complementärfarbe des glänzenderen; jedoch ist es auch ausgemacht worden, daß bei vielen Paaren beide Sterne wirklich farbig sind, und zwar pflegt der größere mehr oder weniger röthlich, der Begleiter hingegen bläulich zu sein. Eine bei mehreren Doppelsternen wahrgenommene Schwächung des Lichtes könnte durch eine Achsendrehung ihre Erklärung finden. — Außer den Doppelsternen hat man auch noch mehrfache, und zwar 3 bis 6 fache Sterne am Himmel entdeckt, von denen einige bereits ziemlich sicher erforscht sind.

Trotz der kurzen Zeit der Bekanntschaft mit den Doppelsternen ist es doch schon gelungen, von vielen derselben (c. 150) die Bahnen und Umlaufszeiten zu berechnen, und einer derselben, ζ des Herkules, hat bereits 2 mal seit seiner Entdeckung einen ganzen Umlauf vollendet, und bereits 2 mal, 1802 und 1831, hat der Himmel das Phänomen der Bedeckung eines Fixsterns durch einen andern dargeboten. Ist der eine der beiden Sterne bedeutend größer als der andere, so macht der kleinere, weil der gemeinsame Schwerpunkt, um den sich beide bewegen, dem größeren sehr nahe liegt, eine bedeutend größere Bahn als der größere, und scheint diesen zu umkreisen; sind dagegen beide gleich groß, und liegt darum der Schwerpunkt in der Mitte beider, so beschreiben beide gleich große Bahnen. Diese Bahnen sind gewöhnlich sehr excentrische Ellipsen, die sich aber dem Beobachter, je nach der Lage der Gesichtslinie zur Ebene der Bahn, sehr verschieden darstellen. Sie müssen als gerade Linie erscheinen, wenn die Gesichtslinie mit der Ebene der Bahn zusammenfällt, stellen sich aber in ihrer wahren Gestalt dem Auge dar, wenn die Gesichtslinie rechtwinklig auf der Ebene der Bahn steht. Zwischen diesen beiden Extremen

liegen alle Mittelstufen. Eine Bedeckung eines Fixsternes durch einen andern kann natürlich nur dann stattfinden, wenn die Bahn als gerade Linie erscheint. Die Excentricität ist sehr verschieden und schwankt, so weit sie bekannt ist, zwischen 0,037 und 0,88 der halben großen Achse; diese aber stellt sich dem Beobachter unter einem sehr kleinen Winkel, zwischen 0″,412 und 33″,5 dar.

Bezieht man nach *Encke* die Bewegung des Begleiters auf den ruhend gedachten größten Stern, so ergiebt sich, daß der Radius vector auch in diesen fernen Sternsystemen in gleichen Zeiten gleiche Räume beschreibt, daß also auch selbst die Fixsterne den *Kepler*schen Gesetzen und somit der Anziehungskraft gehorchen. Wir erhalten hierdurch die Gewißheit, daß in jenen unvorstellbaren Entfernungen die geballte Materie durch dasselbe Band an ihres, gleichen gefesselt ist, und daß jene Fixsternsysteme nicht wesentlich von unserm Sonnensysteme verschieden sind. Ja, es ist nicht unwahrscheinlich, daß auch um jene Sonnen sich dunkle Weltkörper als Planeten bewegen, wenngleich es vielleicht niemals gelingen wird, die wirkliche Existenz derselben unzweifelhaft nachzuweisen. In der folgenden kleinen Tabelle geben wir nach *Littrow* ein Verzeichnis der am sichersten berechneten Doppelsterne.

No.	Name des Sternes.	Scheinbare halbe große Achse der Bahn.	Excentricität.	Umlaufszeit.	Richtung der Bewegung.
		″		Jahre.	
1.	ξ großer Bär	2,295	0,4037	60,18	Rückläufig
2.	Castor, α Zwillinge	7,538	0,3438	996,85	»
3.	σ Krone , .	2,717	0,3088	195,12	Rechtläufig
4.	η Krone	1,202	0,4043	67,31	»
5.	ζ Krebs	1,030	0,2560	58,94	Rückläufig
6.	ω Löwe	0,850	0,6256	117,58	Rechtläufig
7.	τ Ophiuchus	0,818	0,0375	87,04	»
8.	λ Ophiuchus	0,842	0,4536	89,01	»
9.	p Ophiuchus	4,906	0,4894	94,37	Rückläufig
10.	ζ Herkules	1,208	0,4381	37,21	»
11.	ξ Skorpion	1,289	?	105,52	Rechtläufig
12.	1037 Struve's Catalog . .	0,182	0,6316	15,0	»
13.	γ Jungfrau	3,863	0,8806	169,44	Rückläufig
14.	δ Schwan	3,165	0,8470	208,56	»
15.	α Centaur	13,57	0,7752	80,94	Rechtläufig
16.	Sirius, α d. gr. Hundes .	?	?	49,42	?
17.	Prokyon, α d. kl. Hundes	1,05	0,0601	39,97	?

In Beziehung auf die obigen Angaben ist indessen zu bemerken, daß für die meisten der angegebenen Elemente von verschiedenen Astronomen verschiedene, oft sehr bedeutend von einander abweichende Größen gefunden worden sind. So ist z. B. für ξ des großen Bären gefunden worden:

	Halbe gr. Achse.	Excentricität.	Umlaufszeit.
	"		Jahre
Nach *Davory:*	3,857	0,4164	58,262
» *J. Herschel:*	3,278	0,3777	60,720
» *Mädler:*	2,295	0,4037	61,300

Für Castor, α der Zwillinge:

	"		Jahre
Nach *J. Herschel:*	8,086	0,7582	255,66
» *Hind:*	6,300	0,2405	632,27
» *Mädler:*	5,692	0,2194	519,77 u. s. w.

Diese Nichtübereinstimmung darf nicht überraschen, da wegen der ungeheuren Entfernung der Fixsterne von der Erde die Bahnen der Doppelsterne unter sehr kleinen Winkeln erscheinen. Ein Unterschied von nur einer Sekunde oder selbst einem Theile derselben in der scheinbaren Größe der Bahn muß auf die Umlaufszeit und die anderen Bahnelemente den größten Einfluß üben. Außerdem sind die Beobachtungen der Doppelsterne noch zu neu, als daß es namentlich bei den Sternen mit langer Umlaufszeit, möglich sein sollte, durch die seit der ersten Beobachtung im Laufe der Zeit eingetretene Aenderung der Position der betreffenden Sterne etwanige Fehler zu berichtigen.

2. Sternhaufen. Wenn die doppelten und mehrfachen Sterne keinen Zweifel darüber übriglassen, daß mehrere Fixsterne zu einem Ganzen, und zwar durch die Anziehungskraft verbunden sind, so zeigt doch der Himmel Gebilde, unter andern unglaubliche Mengen von Fixsternen, die außerordentlich eng zusammengedrängt erscheinen, bei denen es schwer hält, sich eine Vorstellung davon zu machen, wie im Falle eines inneren Zusammenhangs sich die Anziehungsverhältnisse für die einzelnen Sterne gestalten sollten. Und doch ist ein innerer Zusammenhang mehr als wahrscheinlich. Man benennt übrigens solche eng zusammengedrängte Sternmassen mit dem Namen der Sternhaufen. Sie stellen sich dem bloßen Auge als eine mehr oder weniger deutlich zu unterscheidende Menge von einzelnen Sternen, oft aber nur als eine in nebelartigem Lichte leuchtende Stelle des Himmels dar; durch starke Fernröhre betrachtet, lösen sie sich jedoch stets in viele einzelne Sterne auf. Die Sternhaufen erscheinen in Fernröhren in sehr verschiedenen Formen; einige zeigen sich mehr oder weniger abgerundet, während andere ganz unregelmäßig gestaltet sind. Die ersteren lassen sich übrigens am leichtesten in einzelne Sterne auflösen.

Am meisten Sternhaufen giebt es in der Milchstraße; doch sind auch in großer Entfernung von ihr noch viele derselben zu finden. Eine sehr bekannte Gruppe von Sternen, die schon im hohen Alterthume die Aufmerksamkeit auf sich gezogen, sind die Plejaden oder das Siebengestirn an dem Halse des Stiers. Man erkennt in ihnen mit bloßen Augen deutlich sechs, auch wohl sieben Sterne, denen sich indessen im Fernrohre noch eine große Zahl von einzelnen Sternen zugesellt, so daß das Ganze einen herrlichen Anblick gewährt. *Fig. 116* stellt die Plejaden dar, um eine ungefähre Vorstellung von ihnen zu geben. Eine ähnliche schöne Sterngruppe ist die Krippe im Krebs, die

Fig. 116.

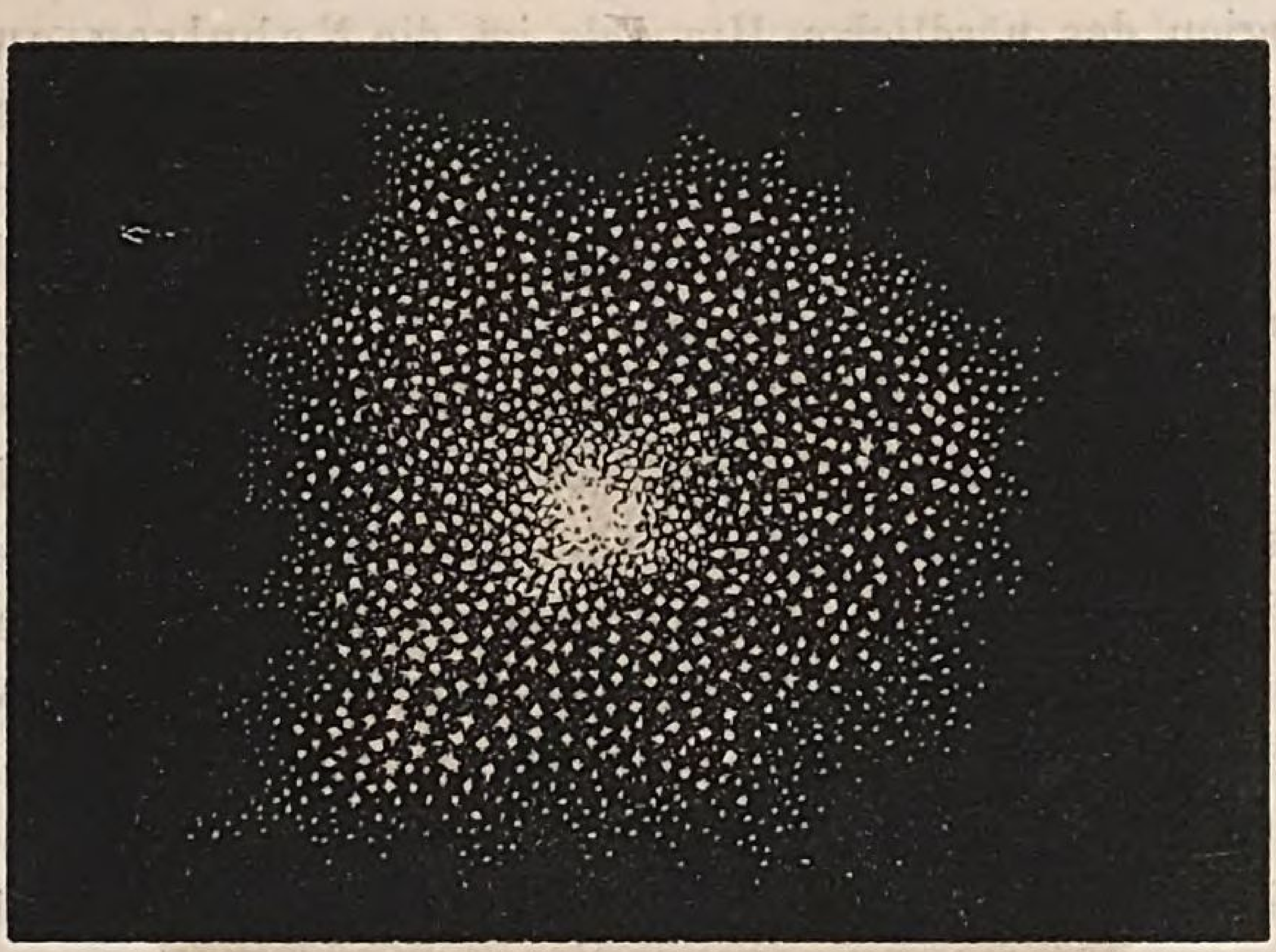


wieder mehrere kleinere Gruppen mit zwei auch drei fast gleich großen Sternen zeigt. Ebenfalls mit bloßen Augen sichtbar ist ein schöner Sternhaufen im Schwertgriffe des Perseus bei der Milchstraße. Auch das Haupthaar der Berenice, nahe dem Nordpol der Milchstraße, bildet eine schöne, mit unbewaffneten Augen sichtbare Gruppe von Sternen, und in recht dunklen, klaren Winternächten entdeckt man leicht noch viele andere, die hier alle aufzuzählen zu weit führen würde.

Ein schöner, sich dem unbewaffneten Auge nur als ein Nebel darstellender Sternhaufen steht zwischen den Sternen η und ζ des Herkules; in einem guten Fernrohre aber löst er sich in wenigstens 1000 Sterne auf und gewährt so einen überaus prächtigen Anblick. Namentlich nach der Mitte zu erscheinen die Sterne ungemein zusammengedrängt, wie in *Fig. 117* zu erkennen ist; außerdem zeigt der Sternhaufen merkwürdige strahlenförmige Ausläufer am Rande. Auch in der Nähe des Arkturus steht ein aus mehr denn 1000 Sternen 10. bis 12. Größe bestehender Sternhaufen; doch auch hier sind einzelne Sterne nur in einem guten Fernrohr zu erkennen. Andere berühmte und schöne Sternhaufen sind im Centaur, im südlichen Kreuz, in der Andromeda u. s. w. Letzterer Sternhaufen ist erst in unsern Tagen in einzelne Sterne aufgelöst worden und zwar von *Georg Bond* in Amerika, und sind in ihm schon mehr denn 1500 einzelne Sterne erkannt worden.

Die Anführung dieser wenigen Sternhaufen möge hier genügen; vollständigere Verzeichnisse findet man in *Mädlers* populärer Astronomie und *Littrows* Wundern des Himmels, und Darstellungen mehrerer derselben in dessen Himmels-Atlas.

Fig. 117.



3. **Nebelflecke.** Vielleicht identisch mit den Sternhaufen und Sternschwärmen sind die Nebelflecke, wie man in mehr oder weniger hellem Lichte leuchtende Stellen des Himmels nennt, und die theils schon dem bloßen Auge, zum größten Theil aber erst in Fernröhren sichtbar werden. Ihren Namen verdanken sie dem eigenthümlichen Dämmerlichte und ihrer gewöhnlich undeutlich begrenzten, verwaschenen Gestalt. Eine genauere Bekanntschaft mit diesen eigenthümlichen Gebilden des Weltenraumes hat erst mit der Erfindung des Fernrohrs begonnen, und ihr Anblick machte auf die Beobachter einen überraschenden Eindruck. Die genauste Kenntnis auch über diesen Gegenstand verbreiteten die beiden *Herschel*, Vater und Sohn; doch machten sich auch viele Andere, besonders *Lacaille* und *Messier*, durch Erforschung der Nebelflecke berühmt. Gegenwärtig kann die Zahl der bekannten Nebelflecke auf c. 4000 angegeben werden, von denen die Positionen am Himmel ziemlich genau bestimmt sind. So bestimmte *S. W. Herschel* in den Jahren 1786 bis 1802 die Position von 2451 Nebelflecken, und sein Sohn, *S. J. Herschel*, fügte diesen 1475 hinzu.

Die Größe der Nebelflecke ist eine sehr verschiedene; während einige einen Raum von nur wenigen Minuten bedecken, verbreiten sich andere über mehrere Quadrat-Grade des Himmels. Sie sind in solcher Menge und Ausdehnung vorhanden, daß sie nach *S. W. Herschel* c. $^1/_{270}$ der ganzen Himmelsfläche einnehmen.

Was die Vertheilung der Nebelflecke anbetrifft, so hat hierüber *S. J. Herschel* erst das rechte Licht verbreitet. Nach ihm befinden sich die meisten Nebel am nördlichen Himmel, und zwar in den beiden Löwen, dem großen Bären, in der Nase der Giraffe, dem Schwanze des Drachen, in den Jagdhunden, dem Haupthaar der Berenice, dem rechten Fuße des Bootes, und vor allen Dingen in dem Flügel und der Schulter der Jungfrau. Am meisten zusammengehäuft erscheinen die Nebelflecke in dem letzteren Sternbilde, wo sich fast $^1/_3$ aller Nebel befinden. Man redet deshalb von einer Nebelregion der Jungfrau, die ihr Maximum wenig nördlich vom Aequator, und zwar zwischen

12^h und 13^h *AR.*, d. i. nahe dem Nordpole der Milchstraße hat. Eine andere nebelreiche Region des nördlichen Himmels ist die Nebelregion der Fische, die aus der nördlichen Halbkugel von der sehr nebelreichen Andromeda nach der Brust und den Flügeln des Pegasus, dem Bande der Fische bis Fomalhaut, also ziemlich weit in die südliche Halbkugel sich hinzieht. Doch giebt es am nördlichen Himmel auch nebelarme Stellen, und zwar ist dies der Fall beim Perseus, dem Widder, Kopf und Oberleib des Orion, Fuhrmann, Herkules, Adler und in der ganzen Leier. Entschieden nebelärmer als die nördliche Halbkugel erscheint die südliche. Auf ihr sind die Nebel gleichmäßiger vertheilt; doch fehlt es auch nicht ganz an nebelreicheren Stellen. Am meisten gedrängt stehen die Nebel in der großen Magelhaenschen Wolke, welche wie ein lichtes Gewölk im Glanze der Milchstraße den sternarmen Südpol umkreiset und nicht weniger als 300 Nebel aufzuweisen hat.

Es ist ein bemerkenswerther Umstand, daß die beiden oben genannten Nebelregionen sich an zwei einander entgegengesetzten Stellen des Himmels, und zwar nahe den Polen der Milchstraße befinden.

Betrachtet man die Gestaltung der Nebelflecke genauer mit Fernröhren, so kann ein und derselbe Nebel in Instrumenten von verschiedener Stärke in sehr verschiedener Gestalt erscheinen, so daß man ihn kaum als denselben Nebel wiedererkennt. In sehr mächtigen Fernröhren, deren bedeutendsten gegenwärtig das des *Earl of Rosse* in Parsonstown bei Dublin und *Lassels* in Stearfield bei Liverpool sind, werden viele Nebelflecke in eine sehr große Menge von einzelnen Sternen aufgelöst, die aufzulösen selbst dem großen 40füßigen *Herschel*schen Fernrohre nicht gelungen ist. Jene Auflösung in einzelne Sterne ist theils vollständig, so daß kein Nebel übrigbleibt, theils unvollständig, so daß die erkennbaren Sterne sich auf einem nebeligen Hintergrunde darstellen. Hiernach scheinen die Nebelflecke nichts als Sternhaufen zu sein, die so weit von uns entfernt sind, daß sie sich selbst in starken Fernröhren nur als ein Nebel zeigen, und hierdurch ist die Ansicht, nach welcher der »Weltendunst«, die den Raum erfüllende Materie, sich allmählich zu einem oder mehreren Mittelpunkten verdichte, der Himmel also Gebilde auf der verschiedensten Stufe der Ausbildung zeige, tief erschüttert worden. Wie die Natur in der Pflanzen- und Thierwelt uns eine Stufenfolge von weniger zu höher organisirten Wesen vorführt, so schien auch der Himmel mit seinen theils formlosen, theils mehr oder weniger gerundeten Nebeln und den zu Kugeln geballten Kometen, Planeten und Fixsternen die Dunsttheorie, d. i. die Annahme einer allmählichen Bildung der Weltkörper aus formlosen Dunstmassen zu vollkommenen Kugeln, zu begünstigen, und selbst berühmte Astronomen, u. a. der ältere *Herschel* und selbst *Newton*, bekannten sich zu dieser Ansicht. Mit der Verbesserung der Fernröhre ist aber die Zahl der in Sterne aufgelösten Nebelflecke stetig gewachsen, so daß es zweifelhaft geworden ist, ob überhaupt noch ungeformte Nebelmasse, ungeballter Weltendunst in den Himmelsräumen vorhanden ist. Allein selbst in dem Riesenfernrohre des ge-

nannten *Earl of Rosse* ist es noch nicht gelungen, alle Nebel in Sterne aufzulösen, so daß die Akten über diesen Gegenstand noch nicht geschlossen sind. Was für die Dunsttheorie zu sprechen scheint, ist der Umstand, daß Nebel von kugeliger oder elliptischer Form, also schon mehr oder weniger geballte Massen, sich am leichtesten in einzelne Sterne auflösen lassen. Von den oben erwähnten 3926 Nebelflecken sind bis jetzt 388 oder fast $^1/_{10}$ als Sternhaufen erkannt worden.

Bemerkenswerth ist endlich die Thatsache, daß einige Nebel eine Veränderlichkeit in der Lichtstärke gezeigt haben; so sind z. B. ein Nebel in den Plejaden und ein anderer in den Hyaden in den letzten Jahren so lichtschwach geworden, daß sie kaum mit den stärksten Fernröhren der Jetztzeit noch erkannt werden können, während früher ihre Auffindung selbst schwächeren Instrumenten leicht gelang.

Wenden wir uns nun etwas specieller zur scheinbaren Form der Nebelflecke, so können mehr oder weniger regelmäßige und unregelmäßige Nebel unterschieden werden.

Die regelmäßig geformten Nebelflecke sind

a) kugelig oder elliptisch, und lassen sich, wie gesagt, von allen am leichtesten in einzelne Sterne auflösen. Gewöhnlich zeigen sie eine Lichtzunahme nach der Mitte zu, besonders wenn sie kugelig sind; bei elliptischen hingegen finden sich auch wohl zwei Lichtkerne, und zwar gewöhnlich an den Scheiteln der Ellipse, so daß eine Gesetzmäßigkeit in der Anordnung der Theile nicht zu verkennen ist. Manche dieser Nebel haben in schwächeren Fernröhren ein gesprenkeltes Aussehen, und es lassen sich in größeren Instrumenten einzelne Sterne in ihnen erkennen. Zuweilen findet man auch wohl zwei solcher Nebel sehr nahe bei einander; sie greifen auch wohl zum Theil in einander und werden dann Doppelnebel genannt. Der scheinbare Durchmesser runder Nebel kann von mehreren Sekunden bis auf einige Minuten steigen. *Fig. 118* zeigt einen schönen Doppelnebel in den Jagdhunden, und *Fig. 119* einen elliptischen Nebel in der Andromeda.

Fig. 118.

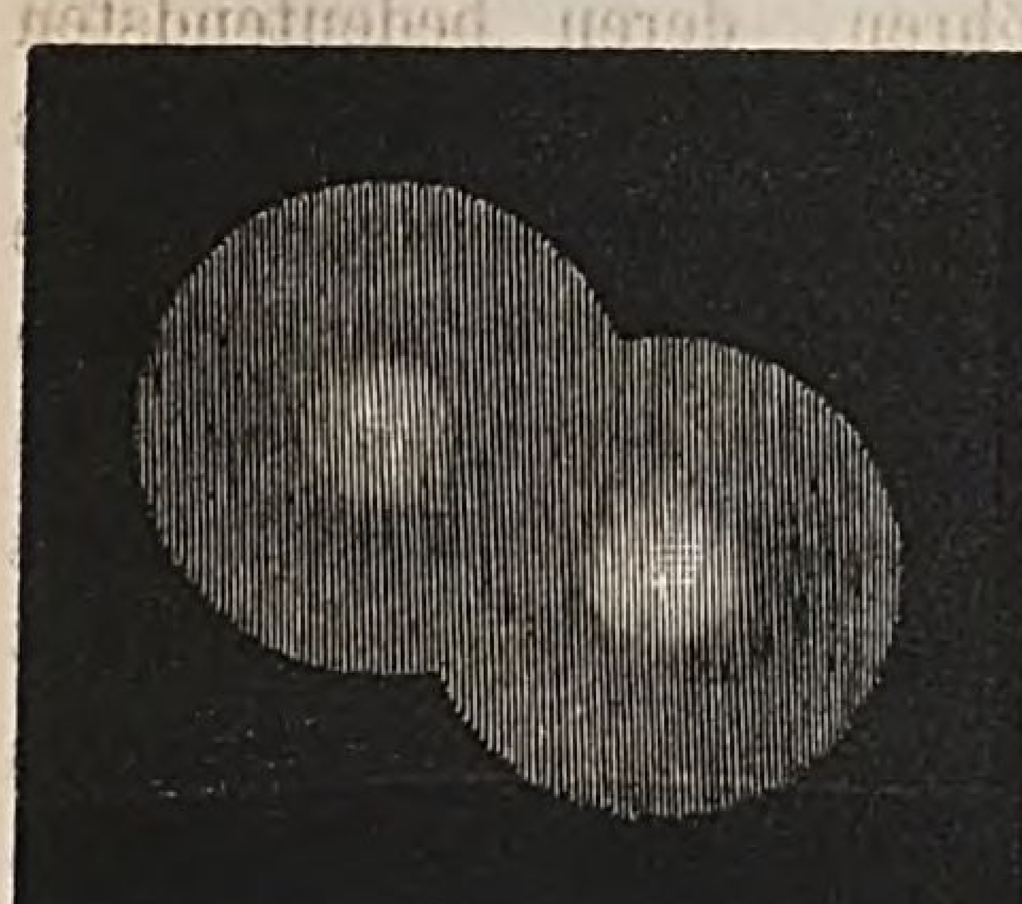
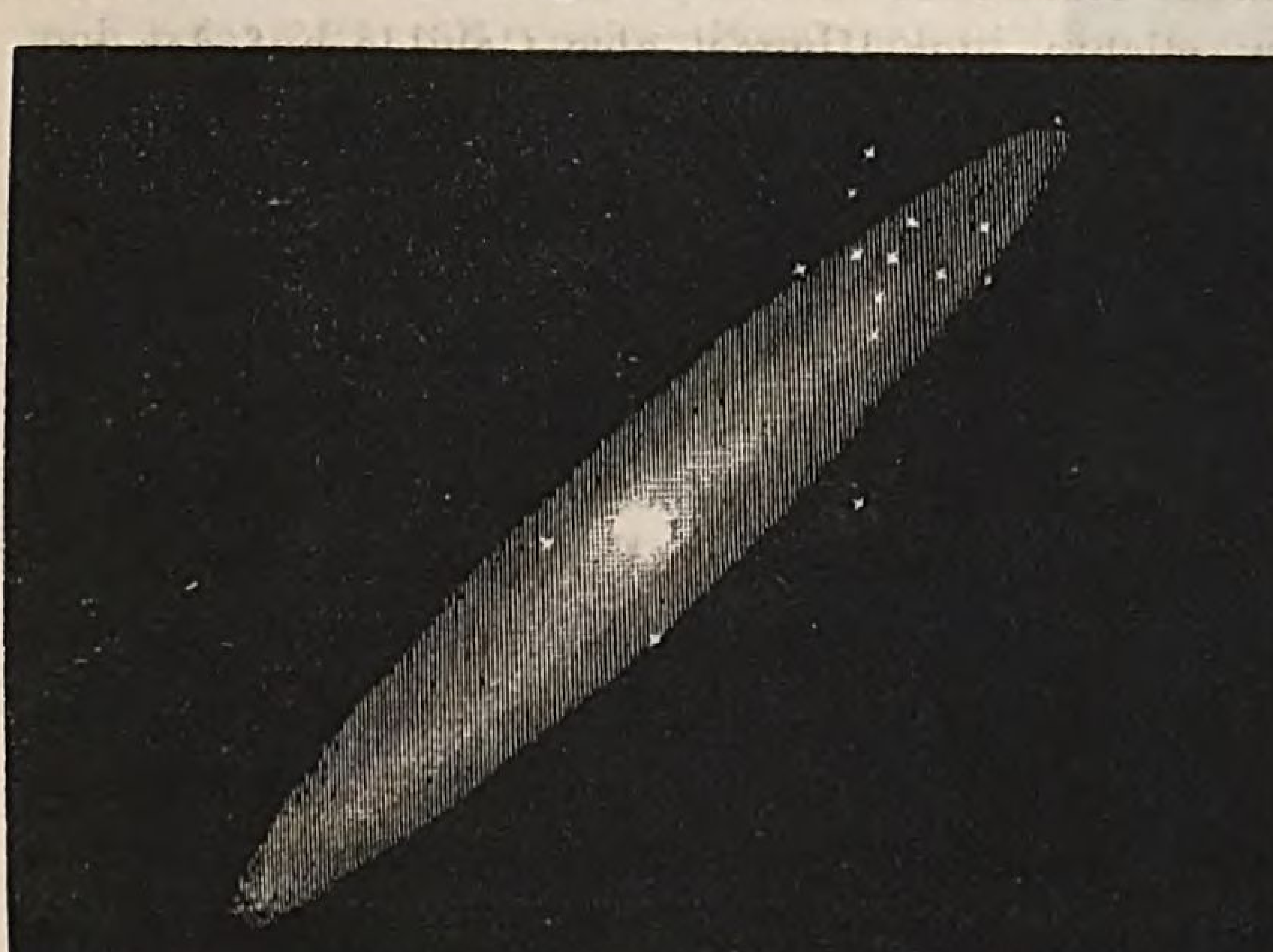


Fig. 119.



b) Planetarische Nebel zeigen sich gewöhnlich kugelig, zuweilen aber auch elliptisch, und unterscheiden sich dadurch von den vorigen, daß sie keine Licht-

zunahme nach der Mitte zeigen, sondern sich fast als eine gleichmäßig leuchtende Scheibe darstellen, deren Ränder zuweilen verwaschen erscheinen. Der scheinbare Durchmesser dieser Nebel beträgt gewöhnlich nur einige Sekunden; doch giebt es auch einzelne solcher Nebel von mehr denn 15′ Durchmesser. Der berühmteste dieser Nebel liegt bei β des großen Bären; er zeigt sich blau gefärbt und hat einen Durchmesser von 2′ 40″. *Fig. 120* stellt einen planetarischen Nebel von 12″ Durchmesser dar; er befindet sich in der Eidechse.

Fig. 120.



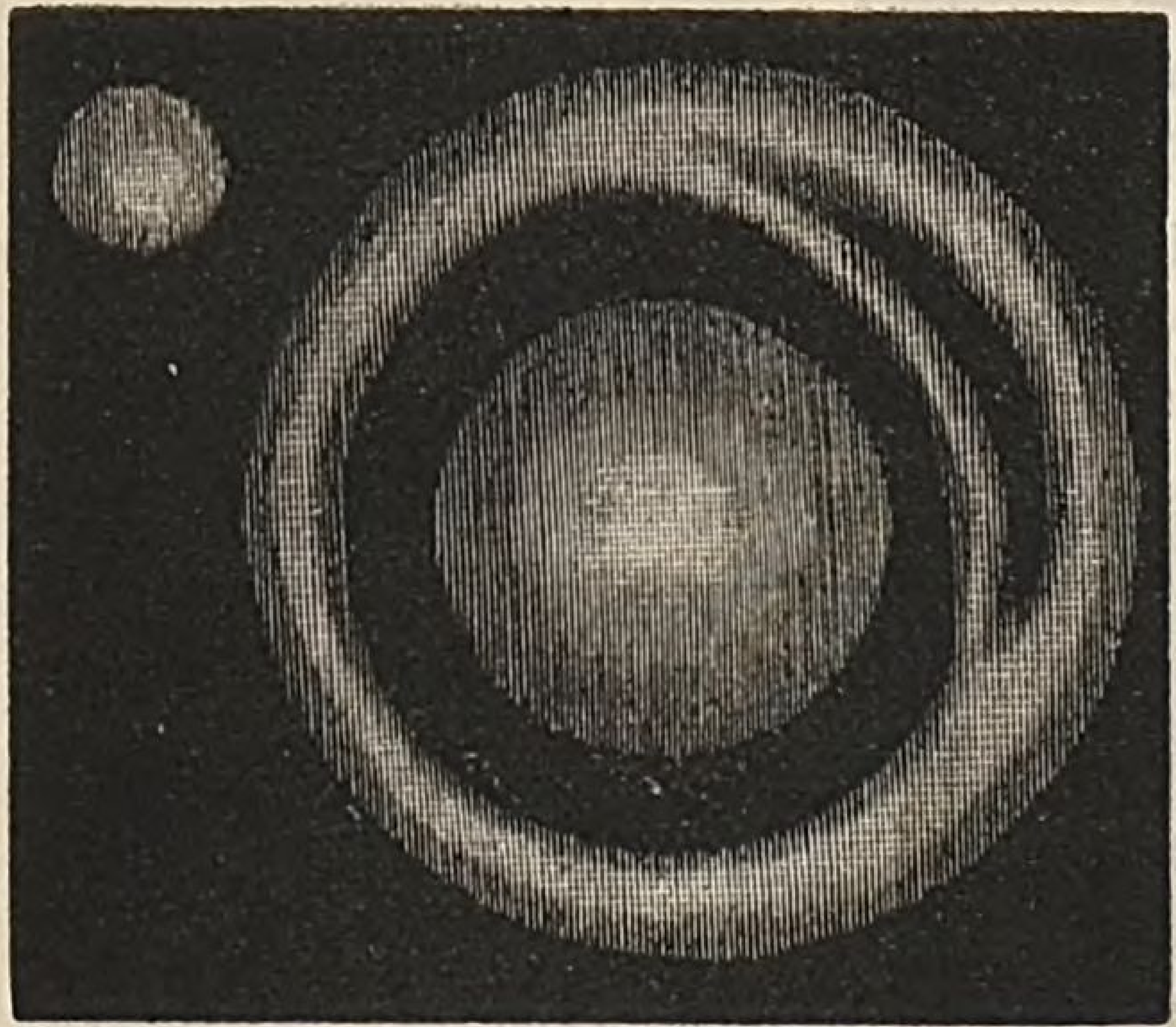
c) Nebelsterne. Von den gewöhnlichen runden Nebeln kann man auch Nebelsterne unterscheiden, die sich als Sterne, mit einem Nebel umgeben, darstellen. Die Sterne, gewöhnlich hell leuchtend, stehen, wenn nur einer vorhanden ist, oft genau in der Mitte des Nebels, seltener an einem Ende desselben. Doch giebt es auch Nebel mit zwei und mehr Sternen, die gemeinsam von einem runden Nebel, wie von einer Glorie umschlossen und überhaupt so gestaltet sind, daß ein innerer Zusammenhang zwischen den Sternen und dem Nebel mehr als wahrscheinlich ist. Zuweilen nimmt der Nebel auch die Form eines Strahles an, der von dem Sterne wie der Schweif von einem Kometen ausgeht. *Fig. 121* zeigt einen elliptischen Nebel mit zwei Fixsternen; er befindet sich im Schützen.

Fig. 121.



d) Ringförmige Nebel. Dies sind sehr räthselhafte Gebilde und bis jetzt nur in geringer Zahl bekannt. Am nördlichen Himmel kennt man deren sieben. Die Form derselben ist sehr verschieden. Zuweilen sieht man einen runden Nebel mit einem Kern, in einiger Entfernung von einem concentrischen, mehr oder weniger scharf begrenzten Nebelringe umgeben. Ein sehr interessanter derartiger Nebel befindet sich in den Jagdhunden; *Fig. 122* zeigt denselben. In dem Riesenfernrohre des *Earl of Rosse* erschien der lichte Kern sogar in Form einer Spirale.

Fig. 122.



e) Die unregelmäßigen Nebel lassen sich, eben ihrer unregelmäßigen Form wegen, nicht gut eintheilen. Sie haben neben der mannigfachsten Form auch die allerverschiedenste Größe. Viele von ihnen bedecken außerordentlich große Räume von mehreren Quadrat-Graden, erscheinen als kosmisches Gewölk und sind es besonders, die den Glauben an eine allmähliche Verdichtung des Urnebels zu kugelförmig geballten Körpern begünstigt haben. Wie große Ausdehnungen müssen diese kosmischen Wolken haben, wenn sie sich auch nur in der Entfernung des nächsten

Fig. 123.



Fixsterns, beiläufig 4 bill. Mln., befinden! Viele dieser Gebilde zeigen ein flockenartiges Ansehen und eine Andeutung der Verdichtung zu Nebelkernen, wie wenn jene formlosen Nebel sich getheilt und in einzelne Gruppen zusammengezogen hätten, etwa so, wie die sogenannten Lämmerwölkchen oder *Cirrocumuli*, die sich häufig im Frühling und Sommer zeigen. Merkwürdig ist, daß solche unregelmäßigen Nebel sich fast nur in oder nahe der Milchstraße befinden, ja fast als Ausläufer derselben zu betrachten sind, während die regelmäßigen mehr am ganzen Himmel vertheilt erscheinen, am häufigsten aber in der Nähe der Pole der Milchstraße anzutreffen sind.

Doch ein großer unregelmäßiger Nebel steht fern von der Milchstraße und in keinem erkennbaren Zusammenhange mit ihr. Es ist der berühmte Nebel im Schwerte des Orion, den *Fig. 123* zeigt. Er wurde zuerst von *Huyghens* im Jahre 1659 beschrieben und abgebildet, und gewährt einen überaus herrlichen Anblick, von dem man sich nur schwer trennt. *Legentil* vergleicht diesen in sehr ungleichem Lichte leuchtenden Nebel mit dem geöffneten Rachen eines Thieres, und in der That giebt ein in den Nebel eingreifender dunkler Theil, der gegen den Nebel scharf begrenzt erscheint, einem Theile des Nebels ein rachenförmiges Ansehen. Die in den helleren Theilen des Nebels stehenden Fixsterne zeichnen sich durch ihr klares Licht aus, während andere in der Nähe befindliche mit trübenden Nebelmassen umgeben erscheinen. Ein merk-

würdiger 4facher Stern in diesem Nebel ist das sogenannte Trapez, dessen größter Stern, ϑ Orionis, 4. Größe ist, während die drei andern Sterne 6., 7. und 8. Größe sind. Die einzelnen Theile des sehr ausgedehnten Nebels haben nach verschiedenen Beobachtern derselben verschiedene Namen, die hier alle aufzuführen zu weit führen würde. Ausführlicheres findet man an den bereits angeführten Orten.

Außer dem großen Nebelflecke im Orion verdienen noch die Magelhaenschen Wolken, auch Cap-Wolken genannt, wie sie namentlich von den nach Auffindung des Seewegs nach Ost-Indien um das Cap der guten Hoffnung fahrenden Seefahrern genannt zu werden pflegten, eine kurze Erwähnung. Man muß zwei solcher Wolken, eine große und eine kleine unterscheiden.

Die große Wolke liegt nach *J. Herschel* zwischen $4^h\,40'$ und $6^h\,0'$ *AR* und zwischen 156^0 und 162^0 Nordpol-Distanz, also nahe dem Südpol der Ekliptik, und hat eine Größe von 42 Quadrat-Graden; die kleine Wolke liegt zwischen $0^h\,28'$ und $1^h\,15'$ *AR* und zwischen 162^0 und 165^0 Nordpol-Distanz, und nimmt einen Raum von 10 Quadrat-Graden ein. Sie umkreisen den sternarmen Südpol, und namentlich mußte die große Wolke, die im Glanze des hellsten Theils der Milchstraße glänzt und selbst bei Mondschein zu sehen ist, während die mattere kleine dann verschwindet, die Aufmerksamkeit der Seefahrer in den südlichen Meeren auf sich ziehen. Seit des kühnen *Ferdinand Magelhaens* Weltumsegelung wird sie in Europa mit dem zuerst genannten Namen belegt. Die Araber hingegen bezeichneten sie mit dem Namen des weißen Ochsen.

Nach *Herschel* sind die Wolken eine Anhäufung der verschiedensten Gebilde. In ihnen sind, namentlich in der großen Wolke, Sternhaufen, regelmäßige und unregelmäßige Nebelflecke dichter gedrängt, als in der Nebelregion der Jungfrau. Er fand

in der großen Wolke	582 Sterne,	291 Nebelflecke und	46 Sternhaufen,
in der kleinen Wolke	200 »	27 »	7 » ,

so daß also die große Wolke auffallend viel Nebelflecke und Sternhaufen zeigt. Uebrigens sind auch diese beiden Wolken außer Zusammenhang mit der Milchstraße, und die kleine liegt in auffallend sternarmer Gegend, so daß man hier, wie durch eine Lücke, in die Tiefe des Weltenraumes schaut.

Schließlich muß hier noch der schwarzen Flecken Erwähnung gethan werden, die der großen Wolke fast gegenüber in etwas größerer Entfernung vom Südpol als diese diesen Pol umkreisen. Sie lenkten nach der Entdeckung des Seewegs nach Ost-Indien die Aufmerksamkeit der portugiesischen und spanischen Seefahrer auf sich, und werden gewöhnlich die Kohlensäcke genannt. Eigentlich ist nur ein dunkler Flecken in der Nähe der herrlichen Constellation des südlichen Kreuzes vorhanden, nach dessen Stellung man die Zeit zu bestimmen im stande ist, da es zur Zeit der Culmination fast aufrecht steht. Der eigentliche schwarze Flecken erscheint wie ein ziemlich scharf begrenzter, sehr dunkler Raum von birnförmiger Gestalt und hat 8^0 Länge

und 5° Breite. In seinem Innern zeigt er dem bloßen Auge nur einen Stern 6. bis 7. Größe, aber viele telescopische Sterne; doch ist die ganze Fläche gegen andere Gegenden des Himmels sehr sternarm. Auch hier scheint man wieder einen Blick, wie durch eine Oeffnung, in den tiefen Himmelsraum zu werfen. Westlich von dem großen Flecken liegt noch ein kleinerer, doppelter, der aber weit weniger dunkel und in seinen Umrissen weniger scharf begrenzt erscheint.

Dies sind in kurzen Umrissen die wichtigsten Gebilde, welche der gestirnte Himmel dem aufmerksamen Beobachter darbietet. Ohne das Fernrohr aber würde unsere Kenntnis von diesen Dingen eine viel beschränktere, und namentlich die Welt der Nebel, die unsere Phantasie so lebhaft anregt, fast ganz unbekannt geblieben sein. Wie die ältesten dunklen Zeiten der Geschichte der Völker uns ein besonderes Interesse gewähren, weil in ihnen die Bedingungen der später bestimmter hervortretenden und genauer bekannten Begebenheiten liegen, und wir durch sie einen Blick in den Proceß des Werdens zu thun vermögen, wodurch uns erst das rechte Verständnis für jene Begebenheiten erschlossen wird: so betrachten wir auch jene fernen, in starken Fernröhren aufglimmenden Nebel mit freudiger Ahnung, weil wir hoffen dürfen, durch ihre genauere Erforschung den Schlüssel des Räthsels zu finden, das uns die wahrscheinliche Entstehungsgeschichte der am Himmel leuchtenden Welten bis jetzt noch verbirgt, und das Band kennen zu lernen, welches die Gegenwart mit der Vergangenheit verknüpft. Dieses Band zu suchen ist dem Menschen Bedürfnis, und schon deuteten wir an, daß viele Astronomen geneigt sind, in den verschieden geformten Nebelflecken verschiedene Stufen des Bildungsprocesses des den Weltraum füllenden Urstoffes zu erblicken, und diese Ansicht, wenngleich durch die gelungene Auflösung vieler Nebel in schon geballte Körper etwas erschüttert, muß nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft immer noch als eine wahrscheinlich annähernd richtige bezeichnet werden. Haben doch die Beobachtungen der Doppel- und mehrfachen Sterne das Walten der Anziehungskraft in jenen hohen Himmelsräumen nach denselben Gesetzen, wie sie in unserm Sonnensysteme bestehen, festgestellt, und haben doch die Forschungen nach der wahrscheinlichen Art der Erdbildung auf eine allmählich fortgeschrittene Verdichtung unserer Erde entschieden hingewiesen. Warum sollte in jenen uns so fernen Weltregionen nichts Aehnliches vor sich gehen können? Vielleicht gelingt es durch fortgesetzte Verbesserung der optischen Instrumente, den Schleier mehr und mehr zu lüften, der jene räthselhafte Welt bis jetzt noch in so vielen Beziehungen unserer Kenntnis entzieht.

4. Spektral-Analyse der Fixsterne und Nebelflecke. Das bisher über die Fixsterne und Nebelflecke Mitgetheilte betraf hauptsächlich äußere Eigenschaften derselben; mit Hilfe der Spektral-Analyse, die man in der neuesten Zeit auch auf diese Gebilde des Himmels vielfach angewendet hat, ist man aber auch im stande, einige Blicke in das innere Wesen derselben zu thun. Wir geben in dem Folgenden kurz die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen.

Was zunächst die Fixsterne betrifft, so hat die Spektral-Analyse der-

selben durch *Huggins*, *Miller*, *Secchi* u. a. das vermuthete Resultat gegeben, daß ihr Spektrum sich im ganzen dem der Sonne ähnlich gezeigt hat, insofern es ein continuirliches mit mehr oder weniger dunklen Linien war, von denen mehrere entschieden mit *Fraunhofer*schen Linien zusammenfielen, während andere nicht im Sonnenspektrum vorhanden waren. Hieraus dürfte folgen, daß auch die selbstleuchtenden Fixsternkörper mit gasförmigen Hüllen umgeben sind, in welchen, wie bei der Sonne, gewisse, das Licht absorbirende Stoffe verbrennen. Von diesen Stoffen sind mehrere mit denen in der Sonnenatmosphäre vorhandenen irdischen Stoffen identisch, während bei anderen eine solche Identität nicht vorhanden zu sein scheint, da man gewisse Linien bis jetzt nicht zu deuten versteht.

Neben dieser Aehnlichkeit der Fixstern-Spektra mit dem der Sonne bestehen aber gar viele Verschiedenheiten, ja, man kann sagen, daß fast jeder Fixstern im Einzelnen sein besonderes Spektrum habe. Indessen lassen sich doch trotz dieser Verschiedenheiten, wie namentlich *Huggins* und *Secchi* gezeigt haben, die Fixsterne nach ihrem Spektrum in verschiedene Gruppen theilen, und der letztgenannte Beobachter glaubt 4 durch besondere Eigenschaften charakterisirte Typen, die auch räumlich auf verschiedene Theile des Himmels vertheilt sind, aufstellen zu dürfen.

Der erste Typus umfaßt weiße Sterne; das Spektrum derselben erscheint im ganzen licht mit verhältnismäßig schmalen Absorptionslinien. Das Licht der hierher gehörenden Sterne wird also nur wenig durch ihre Atmosphäre geschwächt und ist daher weiß. Besonders deutlich treten zwei Wasserstofflinien hervor, so daß Wasserstoff als auf den betreffenden Sternen anwesend angenommen werden muß. Unter den vielen feineren Linien zeigten mehrere die Anwesenheit von Natrium, Magnesium und Eisen an. Sterne dieser Art finden sich im großen Bären, in der Leier (Wega), den Plejaden und im großen Hunde (Sirius).

Den zweiten Typus scheinen gelbliche Sterne zu zeigen. Ihr Spektrum ist etwas reicher an dunklen Linien, als bei der vorigen Gruppe, und im ganzen dem der Sonne gleich, die zu diesem Typus gehört. Der Wasserstoff ist nicht mehr durch zwei, sondern nur durch eine Linie, $H\beta$, repräsentirt; entschiedener dagegen treten die metallinischen Stoffe auf, unter denen wieder Magnesium, Natrium und Eisen hervortreten.

Den dritten Typus bilden gelb-röthliche Sterne, wie α Orionis. Das Spektrum ist noch weniger hell als bei der vorigen Gruppe, und die vielen dunklen Linien treten zu ganzen Banden vereinigt auf, die sich erst bei starker Vergrößerung trennen lassen. Als besonders merkwürdig hebt *Secchi* hervor, daß der helle Theil des Spektrums sich aus einzelnen leuchtenden Linien zusammensetze. Eine merkwürdige Erscheinung! ebenso wie der Umstand, daß *Huggins* und *Miller* bei wiederholter spektrischen Untersuchung des oben genannten Repräsentanten dieser Gruppe ganze Gruppen von Linien haben fehlen sehen. Es setzt dies uns unerklärliche Vorgänge auf jenen Sternen voraus.

Der vierte Typus wird von entschieden rothen Sternen gebildet, und ihr Spektrum ist noch merkwürdiger. Es zeigt drei helle Streifen, die durch dunkle Zwischenräume getrennt sind. Der hellste Streifen liegt im Grün, der schwächere im Blau, und der schwächste im Gelb bis Roth. Die hellste Seite der Streifen liegt nach der violetten Seite des Spektrums. Diesem Typus schließen sich unter andern γ der Cassiopeja und 3 schwache Sterne im Schwan an, von denen der eine gelb, der andere orangegelb und der dritte grüngelb ist. Diese Sterne zeigen ebenfalls sämtlich Spektra mit hellen Linien, die, soweit bis jetzt bekannt ist, nur von glühenden Gasen erzeugt werden.

Aus dem Gesagten geht jedenfalls hervor, daß die Farbe der Fixsterne von Einfluß auf das Spektrum derselben ist, und *Huggins* ist geneigt, nicht sowohl den eigentlichen Sternkörper selbst, als vielmehr die Beschaffenheit der atmosphärischen Hüllen als die Ursache der Färbung anzusehen. *Stoney* stimmt hiermit im allgemeinen überein und glaubt alle Verschiedenheit in dem Aussehen der Fixsterne durch die Verschiedenheit der Schwerkraft an ihrer Oberfläche erklären zu können. Sterne, die massenhafter seien als die Sonne, müßten eine dichtere Atmosphäre haben, und namentlich die schwereren Stoffe, deren Dämpfe viel Licht absorbirten, würden in die Sphäre des leuchtenden Sternkörpers mit hineingezogen und könnten deshalb dunkle Linien nicht erzeugen. Sterne dieser Art seien deshalb weiß. Bei Sternen dagegen, deren Schwerkraft geringer sei als die der Sonne, würden sich die Dämpfe der schwereren Stoffe zu größeren Höhen erheben und nun wegen geringerer Temperatur ihre Licht absorbirende Kraft mehr oder weniger geltend machen können. Je nach dem Grade der Absorption, welche besonders die violette Seite des Spektrums treffe, seien die Sterne gelblich, röthlich oder entschieden roth. Als Beweis für die Richtigkeit der Ansicht sei der röthliche Aldebaran im Stier anzuführen, dessen Spektrum das Vorhandensein des Quecksilbers, Antimons, Tellurs und Wismuts nachweise, Stoffe, die in der Sonnenatmosphäre nicht vorhanden seien. Schwer, ja bis jetzt unmöglich, sind die Erscheinungen an den Sternen des vierten Typus zu deuten. Namentlich scheinen die hellen Linien der sonstigen Fixsternnatur zu widersprechen. Nur bei veränderlichen und neu aufglimmenden Sternen, wie bei dem in der Krone (S. 467), hat man bis jetzt helle Linien gesehen. Allein das Spektrum dieses letzteren Sternes bestand eigentlich aus zwei Spektren, aus dem gewöhnlichen continuirlichen Fixsternspektrum mit dunklen Linien und einem andern darüberliegenden discontinuirlichen mit hellen Linien. Diese letzteren zeigen bekanntlich leuchtende Gase an, und dieses Gas war bei dem in Rede stehenden Sterne Wasserstoffgas, das in der Atmosphäre des Sternes lebhaft verbrannte. Daß man hierbei an Gaseruptionen zu denken geneigt ist, wie sie bei unserer Erde in früheren Jahrtausenden auch stattgefunden haben dürften, ist ebenfalls schon gesagt worden. Leuchten in jenen Sternen, deren Spektrum nur helle Linien zeigt, nur brennende Gase, ohne daß der eigentliche Sternkörper hindurch zu leuchten vermöchte? Die Beantwortung dieser wie so vieler anderer Fragen kann erst die Zukunft bringen.

Huggins hat auch versucht, mit Hilfe sogenannter Thermosäulen und sehr empfindlicher Galvanometer eine Wärmewirkung einiger Fixsterne nachzuweisen, was ihm auch gelungen ist. Bei Sirius fand er eine Abweichung der Nadel um 2°, bei Pollux von 1½°, bei Regulus von 3°, und bei Arkturus sogar von 3° 15′. Eine Fortsetzung dieser Untersuchungen in recht großen Fernröhren verspricht interessante Resultate.

Endlich gedenken wir noch der schwierigen Untersuchungen der lichtschwachen Nebelflecke. Einige derselben, namentlich solche, die sich in einzelne Sterne auflösen lassen, zeigen ein schwaches continuirliches Spektrum, das dem der Fixsterne ähnlich ist, andere, die selbst in den größten Fernröhren nebelartig bleiben, meist nur ein solches, das von 1 bis 4, gewöhnlich von 3 hellen Linien gebildet wird. Dies spricht für einen gasartigen Zustand des Nebelflecks, und *Huggins* erkannte Stickstoff und Wasserstoff als die einige der Linien verursachenden Gase, z. B. im schönen Orionnebel. Hiernach scheinen die Nebelflecke in zwei Gruppen geschieden werden zu müssen, in solche, die bereits geballte feste oder flüssige Materie enthalten, und in solche, die sich noch in gasförmigem Zustande befinden.

Bestätigen fernere Untersuchungen das bis jetzt Vermuthete, so würde die oben angedeutete Ansicht *Herschels,* daß wir wenigstens in einigen Nebeln die allmählich die Weltkörper bildende Urmaterie schauen, neue Stützen erhalten. Man vergesse aber nicht, daß wir die Nebel wie die Fixsterne wegen ihrer ungeheuren Entfernungen von uns in Zuständen sehen, die sie vielleicht vor Jahrtausenden hatten.

III. Entfernung und Parallaxe der Fixsterne.

1. Wichtigkeit des Fernrohrs zur Bestimmung der Entfernung. Ueber die Entfernung der Fixsterne war man im Alterthume gänzlich in Ungewißheit und mußte es sein, da man der zur Bestimmung der Entfernung nöthigen Instrumente gänzlich entbehrte. Erst nach Erfindung des Fernrohrs und seiner Anwendung auf den Himmel i. J. 1610 war die Möglichkeit vorhanden, über die Entfernung der Fixsterne genauere Vorstellungen zu gewinnen und zu verbreiten. Doch thut es ein gutes Fernrohr nicht allein; erst durch die Anwendung des Fadenkreuzes von *Gascoigne* in England, i. J. 1640, wodurch man im stande ist, das Fernrohr zu pointiren und sich zu vergewissern, daß man einen zu beobachtenden Gegenstand genau in der Achse des Fernrohrs habe, sowie durch Verbindung des Fernrohrs mit sehr genau und in sehr kleine Theile getheilten Kreisbogen und Kreisen wurde das Fernrohr tauglich, zu genauen Messungen der Entfernung zu dienen. Hinsichtlich der genauen Kreiseintheilung hat es die neuere Mechanik außerordentlich weit gebracht, und diese hat darum an den großen Fortschritten der neueren Astronomie den wesentlichsten Antheil. Sie hat indirekt den Sinn des Gesichts in

nie geahntem Grade geschärft; man ist nämlich gegenwärtig mit Hilfe fein getheilter Kreise im stande, den sehr kleinen Winkel von einer Bogensekunde noch mit ziemlicher Sicherheit zu bestimmen, d. h. einen Winkel, der etwa der 60. Theil desjenigen ist, unter welchem einem normalen Auge die Dicke eines Menschenhaares in einer Entfernung erscheint, bei der es am schärfsten gesehen wird, und durch sinnreiche, hier nicht näher zu beschreibende Vorrichtungen hat man es sogar dahin gebracht, selbst noch kleinere Winkel, ungefähr den zehnten Theil einer Sekunde, zu bestimmen.

2. **Sehr große Entfernung der Fixsterne.** Wie schon oben mitgetheilt, haben die Fixsterne keine tägliche Parallaxe, da die Entfernung der Standpunkte, welche die Erde darbietet, verschwindend klein gegen die unermeßliche Entfernung der Fixsterne ist. Darum hat man sich bemüht, eine jährliche Parallaxe an ihnen zu entdecken, indem man ihre Oerter am Himmel von den Endpunkten eines Durchmessers der Erdbahn aus zu bestimmen versuchte. Dieser Durchmesser hat eine Länge von etwa 40 mill. Mln., oder er ist 24000mal so groß als der Durchmesser der Erde. Sie verhält sich zur Größe einer deutschen Meile, wie die Zeit von fast $1^1/_3$ Jahren zu einer Sekunde. Eine Kanonenkugel, die in jeder Sekunde 600′ zurücklegte, würde c. 50 Jahre, der Schall, dessen Geschwindigkeit 1038 Fuß in 1 Sekunde beträgt, 29 Jahre, und das geschwinde Licht immer noch $16^1/_2$ Min. Zeit nöthig haben, um den Durchmesser der Erdbahn zu durchfliegen. Es ist also eine unvorstellbare Länge, und man sollte erwarten, daß bei einer solchen Entfernung zweier Standpunkte, wie sie die Endpunkte jenes Durchmessers uns darbieten, eine Aenderung in der Position eines Fixsterns sich bemerklich machen müßte. Seit der neuen Lehre des *Copernikus* beobachtete man möglichst genau die Positionen der Fixsterne, denn, sagte man, bewegt sich die Erde wirklich um die Sonne, so müssen die Fixsterne nothwendig eine Parallaxe zeigen. Indessen ward keine Parallaxe gefunden, und man hielt dies für entscheidend für die Unrichtigkeit des *Copernikan*ischen Systems. Freilich wohl konnte man damals höchstens Winkel von 1′ ziemlich genau beobachten, und hätte ein Fixstern einen solchen Winkel als jährliche Parallaxe gezeigt, so würde er von der Erde 3438 Sonnenweiten, d .i. etwa 70000 mill. Mln., entfernt gewesen sein. Allein jenes Urtheil gegen das *Copernikan*ische System war ein voreiliges. Es konnte freilich mit demselben seine Richtigkeit haben; wenn aber die Fixsterne keine jährliche Parallaxe von 1′ zeigten, so konnte dies auch beweisen, daß die Fixsterne weiter als 70000 mill. Mln. von der Erde entfernt sein müssen, und so ist es in der That. Zeigte ein Fixstern eine jährliche Parallaxe von 1″, so würde dies für ihn eine Entfernung von 206265 Sonnenweiten oder etwas mehr denn 4 bill. Mln. voraussetzen. Diese Entfernung pflegt man eine Sternweite zu nennen und sie als Einheit bei der Bestimmung der Entfernung der Fixsterne anzunehmen. Eine deutliche Vorstellung kann man sich von dieser ungeheuren Entfernung nicht mehr machen; man kann sie sich aber näherbringen, wenn man sie mit anderen bekannten Größen vergleicht oder in Ver-

bindung bringt. Sie verhält sich zu 1 Meile, wie 127000 Jahre zu 1 Sekunde. Jene Kanonenkugel würde c. 5 mill., der Schall fast 3 mill. Jahre, und das Licht doch noch über 3 volle Jahre gebrauchen, um diese ungeheure Strecke zu durchlaufen. Und diese Entfernung ist die kleinste, in der man einen Fixstern vermuthen kann; es ist eine untere Grenze, unterhalb welcher kaum ein Fixstern stehen dürfte. Nach *Herschels* Meinung giebt es wahrscheinlich Sterne, deren Licht erst in mehreren Jahrtausenden zu uns gelangt, wonach man die obere Grenze des Fixsternhimmels fast bis ins Unendliche hinausrücken muß. So zeigt uns der Himmel in seinen Gestirnen nicht ein Bild der Gegenwart, sondern der näheren und fernsten Vergangenheit, und welche Veränderungen können in jenen Räumen vor sich gehen und bereits vor sich gegangen sein, ohne daß uns bis jetzt Kunde davon geworden. Nur die nächsten Erdenräume sind für uns ein Bild der Gegenwart, und durch die Erfindung des Telegraphen ist dieser irdische Kreis des Gegenwärtigen in manchen Beziehungen in ungewöhnlicher Weise erweitert worden.

3. **Parallaxe einiger Fixsterne.** Früher glaubte man, daß die hellsten Fixsterne auch die uns nächsten seien; dies hat sich aber durchaus nicht bestätigt, indem Sterne geringerer Größe eine bedeutendere jährliche Parallaxe gezeigt haben, als Sterne 1. Größe, die früher zu diesem Zwecke beobachtet wurden. Man beobachtet gegenwärtig hauptsächlich solche Sterne, die eine starke Eigenbewegung im Raume zeigen, weil diese wahrscheinlich die nächsten sind. Die Zahl der Fixsterne, deren Parallaxe annähernd hat bestimmt werden können, beträgt gegen 40; wir begnügen uns mit der Aufzählung von 10 derselben, die man für die sicherst bestimmten glaubt ansehen zu dürfen, obgleich die gefundenen Werthe auch nur Annäherungen an die wahren sind.

Fixsterne.	Parallaxe.	Wahrscheinl. Fehler.	Entfernung in geogr. Mln.	Lichtweg in Jahren.	Beobachter.
	"	"	Bill. Mln.		
α des Centauren	0,918	0,070	4,7	3,6	Henderson & Maclear
Stern 61 des Schwans	0,374	0,020	11,4	8,7	Bessel
Sirius	0,230		18,5	14,1	Henderson
Stern 1830 des Catal. von Groombridge	0,226	0,141	18,8	14,4	Peters
Stern 34 desselb. Catal.	0,307	0,025	13,8	10,6	Auwers
ι des großen Bären	0,133	0,106	32,1	24,5	Peters
Arkturus	0,127	0,073	33,6	25,6	»
Wega	0,207	0,038	20,6	15,7	»
der Polarstern	0,106	0,012	40,2	30,7	»
Capella	0,046	0,200	92,8	70,8	»

Nach dieser Tabelle wäre unter allen bis jetzt beobachteten Fixsternen der schöne Doppelstern am südlichen Himmel, α Centauri, der uns nächste Fixstern, und ihm folgten der von *Auwers* beobachtete Stern 34 in der Cassiopeja, ein Stern 8. bis 9. Größe, und dann der von *Bessel* so lange beobachtete Stern 61 im Schwan, 6. bis 7. Größe, die beide durch ihre große Eigenbewegung unter den Fixsternen besonders merkwürdig sind. Capella dagegen scheint trotz ihrer Helligkeit außerordentlich fern von uns, und demnach ein sehr großer, aber doch ein einen starken Lichtprozeß unterhaltender Fixstern zu sein.

4. **Größe der Fixsterne.** Kennt man die Entfernung eines Sterns und seinen scheinbaren Halbmesser, so ist es, wie wir S. 456 gesehen haben, leicht, daraus den wahren Halbmesser des Sterns abzuleiten. Erschiene der Halbmesser eines Fixsterns unter dem Winkel von 1″ und betrüge seine jährliche Parallaxe ebenfalls 1″, so wäre der Stern so groß, daß er den ganzen Raum der Erdbahn ausfüllte, oder er hätte einen Halbmesser von 20682000 geogr. Meilen. Nun ist es aber außerordentlich schwer, die Größe des scheinbaren Halbmessers bei Fixsternen zu messen, da sie sich selbst in guten, stark vergrößernden Fernröhren nicht als Scheiben, sondern um so mehr als ein Punkt darstellen, je besser das Fernrohr ist. Jedenfalls sind die scheinbaren Halbmesser der Fixsterne sehr klein. Betrachtete man unsere Sonne in der Entfernung einer Sternweite, so würde der gegenwärtig 960″ betragende Halbmesser derselben unter dem Winkel von nur 0″,002 erscheinen, in einer Größe, die für unsere besten Meßinstrumente unmeßbar ist. Gewiß sind unter den Fixsternen Sterne, die unsere Sonne an Größe bei weitem übertreffen, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß dieselben, ähnlich unserer Sonne, von dunklen Himmelskörpern umkreiset werden, über deren Existenz wir allerdings wegen ihrer zu geringen Lichtstärke wohl niemals etwas erfahren werden. Unsere Sonne aber wandelt, von ihresgleichen durch ungeheure Räume geschieden, mit den sie begleitenden Planeten und Kometen einsam ihren Weg.

5. **Bemühungen, die Parallaxe zu finden.** Mit der Bestimmung der Parallaxe haben sich seit *Galilei*, der dazu sehr unzweckmäßig die Beobachtung des Untergangs eines Fixsterns von verschiedenen Punkten der Erde und zu verschiedenen Jahreszeiten vorschlug, sehr viele Astronomen beschäftigt. Man beobachtete namentlich sehr fleißig Sterne, die in der Nähe des Zenithes culminirten, zu verschiedenen Jahreszeiten, und suchte durch den Unterschied der beobachteten Zenithdistanzen zu der Parallaxe zu gelangen; denn offenbar mußte, wenn man einen Fixstern in ½jährigen Zwischenräumen von den in dieser Zeit so sehr veränderten Erdörtern betrachtete, wäre anders eine Parallaxe vorhanden, eine scheinbare Ortsveränderung des Sterns sich zeigen und dadurch ein Einfluß auf die Zenithdistanzen zur Zeit der Culmination ausgeübt werden. Allein auch diese Bemühungen waren von sicheren Resultaten nicht begleitet. Der jüngere *Herschel* schlug zur Beobachtung solche Sternpaare vor, die sehr nahe bei einander ständen, und wirklich wären dergleichen zur

Erreichung des in Rede stehenden Zweckes geeignet, wenn die Sterne nur optisch und nicht wirklich nahe bei einander ständen. Denn im ersteren Falle müßte die gegenseitige Entfernung der Sterne im Laufe eines Jahres sich merklich ändern, indem der der Erde nächste Stern eine größere Ortsverrückung erfahren müßte als der fernere; zudem vermiede man dabei die Fehler der Refraction gänzlich, da ja der Ort der beiden nahe stehenden Sterne davon gleichmäßig berührt wird. Allein auch hier stellen sich der Erreichung des Zweckes Hindernisse in den Weg, indem eine sehr große Zahl der Doppelsterne physische Doppelsterne sind, und sich darum in nicht sehr verschiedenen Entfernungen vom Beobachter befinden.

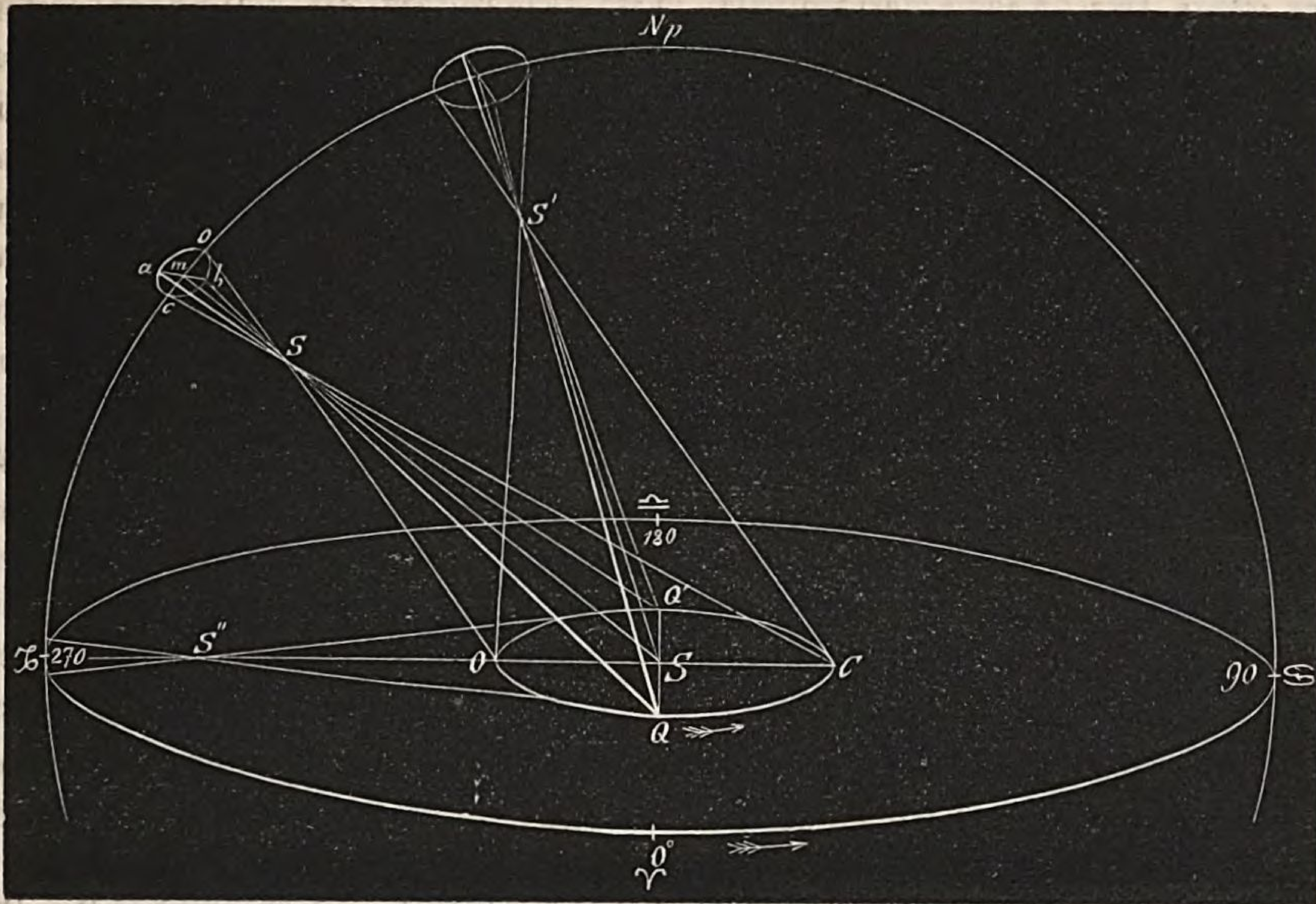
Die vielfachen Bemühungen, die Parallaxe der Fixsterne zu bestimmen, führten aber noch zu andern merkwürdigen Entdeckungen an den Fixsternen.

IV. Von der Aberration des Lichtes.

Um eine Parallaxe zu finden, beobachtete der scharfsinnige und unermüdliche *James Bradley* in Verbindung mit *Molineux* im Jahre 1725 namentlich den nahe durch das Zenith von Kew, einem Orte in der Grafschaft Essex, gehenden Stern γ im Kopfe des Drachen. Hierbei ward aber eine von der Parallaxe ganz unabhängige, allen Fixsternen gemeinsame, eigenthümliche Bewegung der Sterne entdeckt, welche man die Aberration des Lichtes nennt.

1. **Verlauf der parallaktischen Bewegung eines Sterns.** Um zu einer richtigen Vorstellung über die Sache zu gelangen, erwäge man Folgendes: Stände die Erde still und bliebe sie beständig an demselben Orte des Weltraums, so würde eine zu einem Fixsterne gezogene Gesichtslinie, falls der Fixstern sich nicht bewegte, immer denselben Punkt der Himmelskugel treffen; er hätte also gewiß keine Parallaxe. Nun bewegt sich aber die Erde um die Sonne in einer Bahn von c. 40 mill. Mln. Durchmesser. Falls die Erdbahn den Entfernungen der Fixsterne gegenüber nicht als verschwindend klein angesehen werden kann, müssen die von verschiedenen Punkten der Erdbahn durch den Stern, den wir uns in der Nähe des Nordpols der Ekliptik denken wollen, gehenden Gesichtslinien beständig andere Punkte des Himmels treffen. Denken wir uns eine bestimmte Gesichtslinie mit der Erde fortschreitend, so muß eine solche in Jahresfrist den Mantel eines Kegels beschreiben, dessen Grundfläche die Erdbahn ist, und dessen Spitze im Stern liegt. Diesem Kegel ist aber noch ein zweiter Kegel mit der Spitze aufgesetzt, dessen Mantel durch die jenseit des Sternes verlängert gedachte Gesichtslinie beschrieben wird. Dieser letztere Kegel muß von der Himmelsfläche geschnitten werden, und zwar in einer der Erdbahn ähnlichen Ellipse, die man sich auch als von jener verlängerten Gesichtslinie auf den Himmel gezeichnet vorstellen kann. Diese von dem Sterne während eines Jahres scheinbar beschriebene parallaktische Ellipse hat in *Fig. 124* dargestellt werden sollen, welche Figur uns noch

Fig. 124.



später zum Anhalt der Betrachtung dienen wird. Es sei in derselben der äußerste Kreis ein größter Kreis des Himmels, und zwar ein durch den Pol der Ekliptik *Np* gehender Breitenkreis, der also auf der Ekliptik, die in der Figur durch den Kreis ♈♋♎♑ bezeichnet ist, senkrecht steht. $QCQ'O$ sei die Erdbahn und S die im Mittelpunkte derselben stehende Sonne. Eine durch den Stern s, der in der Ebene des Breitenkreises gedacht werden mag, von der Sonne aus gezogene Linie trifft am Himmel den wahren heliocentrischen Ort m des Sterns, und um diesen gruppiren sich die durch die Parallaxe bewirkten scheinbaren Oerter des Sterns für die Erde. Man wird in der Figur die beiden vorhin erwähnten Kegel und die parallaktische Ellipse $acbo$ wohl erkennen. Die stärksten der gezogenen Linien sollen als aus der Ebene jenes Breitenkreises heraustretend vorgestellt werden. Steht die Erde in C, so hat der Stern s, der in c erscheint, mit der Sonne gleiche Länge (270^0) oder er steht in Conjunction mit ihr. Von O aus, in o, ist seine Länge (270^0) von der der Sonne (90^0) um 180^0 verschieden; er steht also in Opposition mit ihr. Von Q und Q' aus endlich weicht die Länge der Sonne von der des Sterns in b und a etwa um 90^0 ab oder der Stern steht mit ihr in Quadratur. Wenn der Stern von C und O aus in c resp. o erscheint, befindet er sich in der Ebene des Breitenkreises; er hat also in beiden Punkten gleiche Länge, nicht aber gleiche Breite; denn in o, in Opposition mit der Sonne, steht er scheinbar höher über der Ekliptik, als in c zur Zeit der Conjunction. Man sieht leicht, daß er in dem ersteren Punkte seine größte, in dem letzteren seine kleinste Breite haben muß. In der Quadratur dagegen, wo der Stern von Q

und Q' aus in b und in a erscheint, hat die Breite ihren mittleren Werth; denn der ganze Durchmesser der Erdbahn wirkt, wie vorhin auf die Breite, jetzt auf die Länge des Sterns; diese ist in b am kleinsten, in a aber am größten. (In der Figur soll b hinter, a vor der Fläche des Papiers liegend gedacht werden.) Aus dem Gesagten ergiebt sich als Resultat: Bei der parallaktischen Bewegung eines Sternes hat dieser seine mittlere Länge in den Syzygien (Conj. und Oppos.), seine größte und kleinste aber in den Quadraturen, während die Breite des Sterns in den Quadraturen ihren mittleren, in der Conjunction ihren kleinsten, in der Opposition ihren größten Werth hat.

Die Maxima und Minima der Breite und der Länge müssen aber für verschieden entfernte Sterne verschieden sein; sie sind im allgemeinen um so kleiner, je weiter die Sterne entfernt sind, und umgekehrt. Außerdem ist aber die Breitendifferenz um so größer, je näher der Stern dem Pole der Ekliptik steht; jene Differenz aber verschwindet gänzlich, wenn der Stern in der Ebene der Ekliptik sich befindet; es bleibt dann, wie in der Figur an dem Sterne s'' gesehen werden kann, nur eine Aenderung der Länge übrig.

2. **Entdeckung Bradley's.** Die Resultate aber, welche *Bradley* aus seinen fleißigen Beobachtungen zog, stimmten mit diesen parallaktischen Bewegungen der Sterne durchaus nicht überein, wenngleich er anfangs die gefundene Ortsveränderung für die gesuchte Parallaxenbewegung zu halten geneigt war. Er fand nämlich:

1) daß alle Fixsterne ohne Ausnahme einer Bewegung unterworfen zu sein scheinen, deren Periode ein Jahr ist, die also von der jährlichen Bewegung der Erde abhängig sein muß;

2) daß bei dieser Bewegung alle Fixsterne, mit Ausnahme der in der Ekliptik stehenden, eine Ellipse zu beschreiben scheinen, deren große Achse bei allen gleich ist und 40″,5 beträgt;

3) daß bei dieser Bewegung die Länge und die Breite der Sterne in der Art verändert werden, daß die Länge eines Sterns in den Syzygien ihren größten und kleinsten Werth, und zwar in der Conjunction den kleinsten, in der Opposition den größten; die Breite hingegen in den Quadraturen ihren größten und kleinsten, in den Syzygien aber ihren mittleren Werth hat.

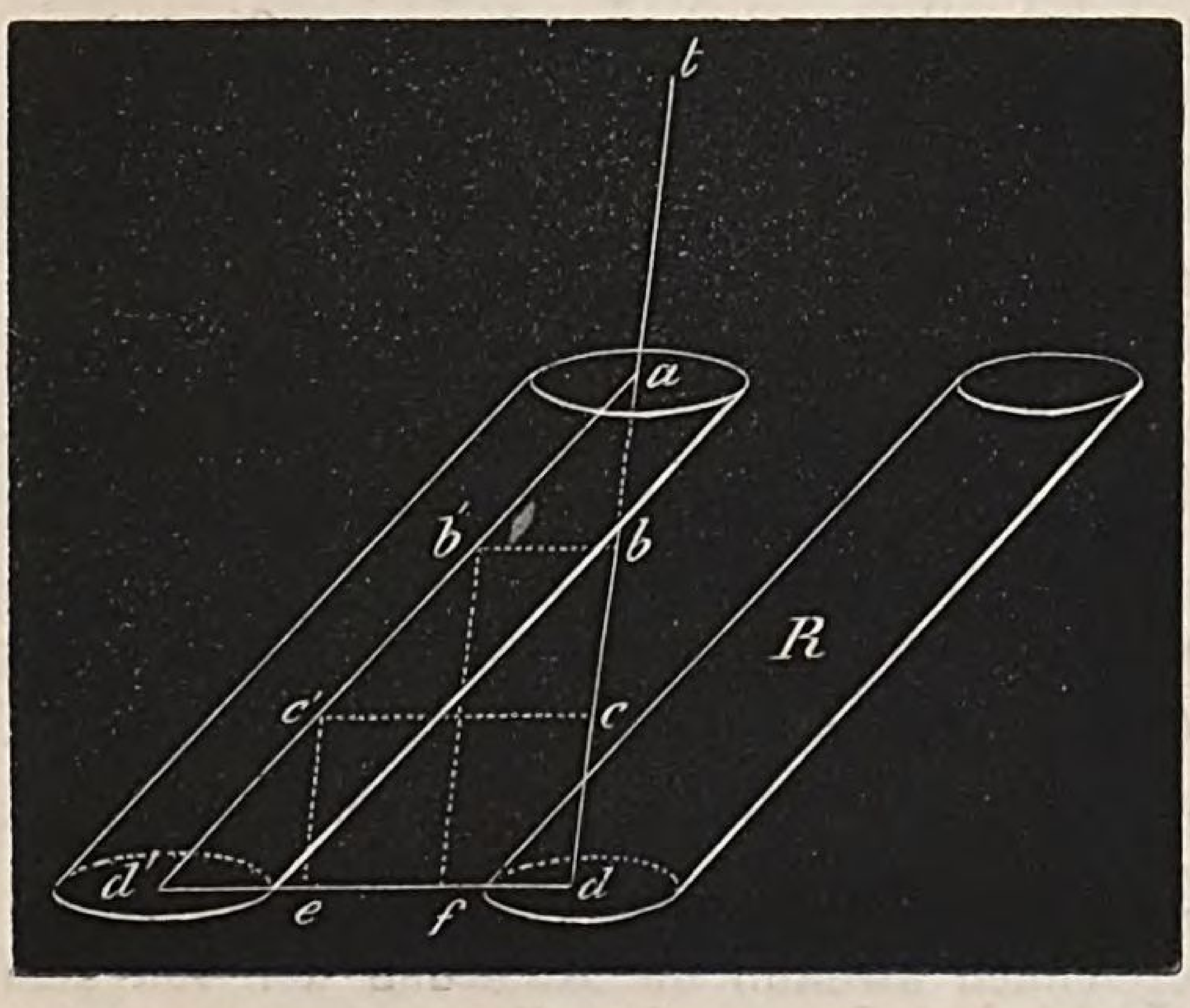
Hieraus folgt, daß namentlich das unter 2 und 3 Gesagte den Folgen der Parallaxe durchaus widerspricht. *Bradley* war so glücklich, für diese merkwürdige scheinbare Bewegung der Sterne bald die richtige Ursache zu entdecken, und zwar in dem Umstande, daß die Geschwindigkeit, mit welcher die Erde in ihrer Bahn fortschreitet, nicht verschwindend klein ist gegen die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht fortpflanzt. Das Folgende möge die Sache klar machen.

3. **Ein Versuch.** Wenn es bei ganz ruhigem Wetter regnet, so fallen die Tropfen in vertikaler Richtung zur Erde herab. Wollte jemand mit einer

cylindrischen, oben offenen Röhre die in die obere Oeffnung derselben einfallenden Regentropfen so auffangen, daß sie, ohne die Wände der Röhre zu berühren, auf den Boden fallen, so würde er natürlich die Röhre ebenfalls vertikal halten müssen; alsdann würde also z. B. ein im Mittelpunkte der Oeffnung einfallender Tropfen in der Achse der Röhre herabfallen und den Mittelpunkt des Bodens erreichen. Fiele dagegen der Regen, wie es bei windigem Wetter zu geschehen pflegt, in schräger Richtung herab, so würde man die in die Oeffnung der Röhre einfallenden Regentropfen, ohne daß sie die Wände der Röhre treffen, auffangen, wenn man die Röhre der Richtung der Regentropfen parallel hielte. Anders verhält sich die Sache, wenn man die Röhre nicht in Ruhe läßt, sondern mit derselben fortschreitet. Fiele in diesem Falle ein Tropfen auch in dem Mittelpunkte der Oeffnung ein, so würde er beim Fortschreiten der Röhre, da der Tropfen eine gewisse Zeit gebraucht, um bis zum Boden derselben zu gelangen, nothwendig gegen die Wände der Röhre getrieben werden. Wollte man dieses vermeiden, so müßte man die Röhre aus der mit der Richtung der Tropfen parallelen Richtung herausbewegen, und zwar müßte man sie nach der Seite hin neigen, nach welcher man fortschreitet. *Fig. 125* kann das Gesagte klarer machen.

Es sei $ab'c'd'$ die Achse eines bei a offenen Rohres, auf dessen Grundfläche, und zwar auf dem Mittelpunkte d' derselben, man einen fallenden Regentropfen auffangen wollte. Nehmen wir an, daß der Tropfen, um das Rohr zu durchlaufen, soviel Zeit gebrauchte als nöthig ist, um drei Schritte $d'c$, ef und fd zu machen, und daß derselbe bei jedem Schritte die Wege ab, bc und cd machte. Der Tropfen fällt bei a in den Mittelpunkt der Oeffnung des Rohrs, und er wird nach dem 1., 2. und 3. Schritte noch in der Achse des Rohres sein, wenn die Punkte b', c', d' des Rohres resp. in b, c und d sind. Der Tropfen wird den Mittelpunkt der Grundfläche erreichen, wenn das Rohr nach dem dritten Schritte die Lage des Rohres R der Zeichnung hat. Man sieht leicht, daß die Achse des Rohres gegen die Richtung des Tropfens, $tabcd$, nach vorwärts geneigt ist und mit derselben den Winkel $d'ad$ macht; auch ist leicht einzusehen, daß dieser Winkel um so größer werden muß, je rascher die Bewegung des Rohres gegen die Geschwindigkeit des Tropfens ist, und umgekehrt.

Fig. 125.

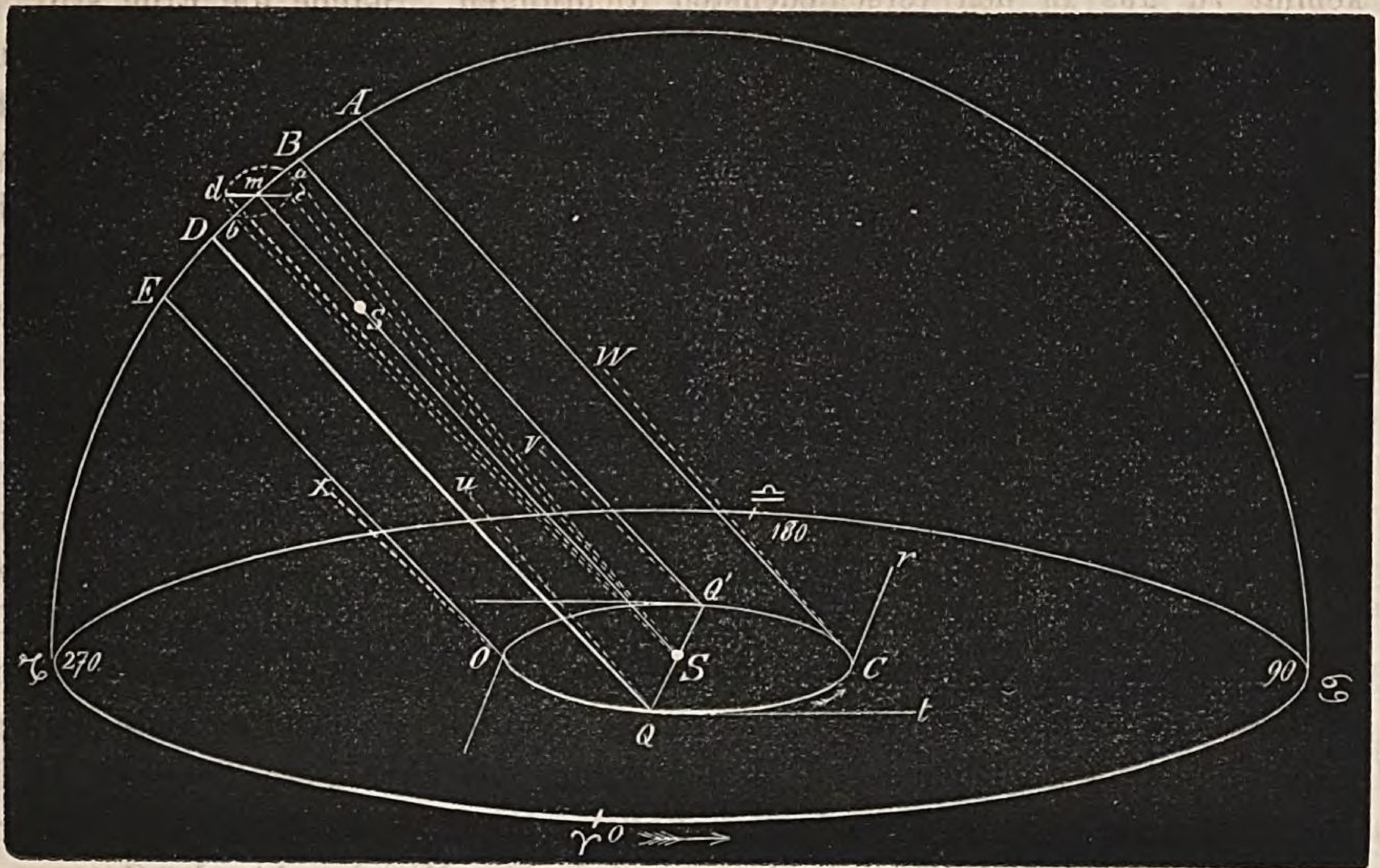


4. **Anwendung auf die Sterne.** Wenden wir das Gesagte auf die Sterne an.

Wir betrachten die Sterne von der **Erde** aus, und das Licht derselben kommt zu uns in den verschiedensten Richtungen. Stände die Erde still, so würde man, damit ein von einem Stern ausgehender Lichtstrahl durch die Achse eines Fernrohrs in unser Auge käme, die Achse gerade auf den Stern richten können; wir würden also den Stern an seinem richtigen Orte sehen, falls wir von der Verrückung desselben durch die Strahlenbrechung absehen. Nun bewegt sich aber die Erde mit einer Geschwindigkeit von 4,119 Mln. in der Sekunde, während das Licht in derselben Zeit einen Weg von 41900 Mln. durchläuft. Gegen diesen Weg ist aber der Weg der Erde nicht gleich Null, sondern er ist $\frac{1}{10172}$ des Lichtwegs. Richtete man daher ein Fernrohr auf einen Fixstern parallel mit der Richtung der von den Sternen ausgehenden Strahlen, so würde man ihn nicht im Rohre, wenigstens nicht im Mittelpunkte desselben sehen. Damit dies aber geschehe, ist es nöthig, das Fernrohr gegen die Richtung der Lichtstrahlen etwas zu neigen, und zwar nach der Richtung hin, nach welcher sich die Erde gerade hinbewegt, oder nach der Richtung der Tangente der Erdbahn in dem betreffenden Punkte der Bahn. Da aber diese Tangente in der elliptischen Bahn die verschiedensten Lagen annimmt, so wird um den wahren heliocentrischen Ort des Sterns, den eine von dem Mittelpunkte der Sonne zum Stern gehende gerade Linie treffen würde, durch die scheinbaren Oerter des Sternes eine der Erdbahn ähnliche Ellipse beschrieben, die man **Aberrations-Ellipse** nennt. Ihr Halbmesser erscheint unter einem Winkel von 20″,25; denn so viel muß das Fernrohr gegen die Richtung der Lichtstrahlen geneigt werden, und dieser Winkel heißt der **Aberrations-Winkel**.

5. **Veranschaulichung der Aberration.** Zur näheren Verdeutlichung möge *Fig. 126* dienen. Es sei wieder, wie in der vorigen Figur, der äußerste Kreis ein Breitenkreis des Himmels und ♈♋♎♑ die auf den Himmel projicirte Erdbahn oder die Ekliptik, auf welcher die Länge der Sterne gemessen wird. Der von dieser Ekliptik umschlossene kleinere Kreis $QCQ'O$ sei die Erdbahn, in deren Mitte die Sonne S steht. Des Sternes s wahren heliocentrischen Ort m trifft die von der Sonne nach dem Stern gehende Linie Ss. Es möge dieser Stern als in der Ebene des genannten Breitenkreises, in der Zeichnung also in der Ebene des Papiers liegend gedacht werden. Von 4 Punkten der Erdbahn $QCQ'O$ sind mit der von der Sonne zum Stern gehenden Linie Ss 4 Parallellinien QD, CA, $Q'B$ und OE gezogen worden. Nehmen wir die Entfernung des Sternes als unermeßlich an, so werden diese Linien, die eigentlich als in dem Mantel eines Cylinders liegend zu denken sind, dessen Grundfläche die Ebene der Erdbahn ist, als mit der Linie Ss zusammenfallend gedacht werden können, und sie bezeichnen alsdann die Richtung der von dem Sterne zur Erde gehenden Lichtstrahlen. Betrachtet man jenen Stern, so sieht man ihn aber nicht in der Richtung dieser Strahlen; denn aus genannten Gründen muß ja das Fernrohr um den Winkel von 20″,25 gegen diese Richtung geneigt werden, und zwar nach der Gegend hin, wohin die Erde gerade sich

Fig. 126.



bewegt. Von Q aus, wo der Stern mit der Sonne in der Quadratur steht, würde das Fernrohr etwa die Richtung der punktirten Linie Qu haben müssen, welche Linie mit QD und der Tangente der Erdbahn, Qt, in derselben Ebene liegt. Diese Ebene aber steht senkrecht auf der Ebene der Erdbahn. Wegen der angenommenen unermeßlichen Entfernung des Sternes kann aber die Richtung Qu als mit der ihr parallelen Linie Sa zusammenfallend, und a als der scheinbare Ort des Sternes für Q angesehen werden. In Q' würde das Fernrohr etwa die Richtung $Q'v$ haben, der Stern also bei gleicher Uebertragung dieser Richtung an die Sonne in der Richtung von Sb, also in b gesehen werden. Die Linien Sa und Sb liegen aber in einer auf der Ebene der Erdbahn senkrechten Ebene; mithin muß der Stern von Q und Q' aus, d. i. in den Quadraturen mit der Sonne, eine der wahren heliocentrischen gleiche Länge haben, und diese Länge ist zugleich die mittlere Länge des Sternes. Der wahre Durchmesser der Erdbahn wirkt aber auf die Breite des Sternes. Diese ist offenbar am größten von Q aus in a und am kleinsten von Q' aus in b; denn in dem ersten Punkte steht der Stern der Ekliptik am fernsten, in dem letzteren am nächsten. In C, von wo aus gesehen der Stern mit der Sonne in Conjunction stehen würde, wird das Fernrohr die Richtung der Linie Cw haben, welche Linie in derselben Ebene mit der Linie CA und der Tangente Cr, in der Zeichnung also hinter der Ebene des Papiers liegt. Die veränderte Richtung des Fernrohrs wirkt darum mit ganzer Größe auf die Länge des Sternes, und zwar macht sie diese zu einem Minimum, da sie den Stern dem Frühlingspunkte ♈ annähert. Ueberträgt man Cw an die Sonne, wie früher, so trifft die mit Cw parallele Linie Sc den scheinbaren Ort c des Sternes von

C aus. — In O, zur Zeit der Opposition des Sternes mit der Sonne, ist die Richtung des Fernrohrs durch die Linie Ox, und der scheinbare Ort des Sternes durch Uebertragung der Linie Ox an die Sonne durch d bezeichnet, welcher Ort vor der Ebene des Papiers liegend gedacht werden muß. Offenbar ist auch jetzt die Länge des Sternes verändert, und zwar ist sie zu einem Maximum vergrößert worden, während die Breite, wie in C, ihren mittleren Werth behalten hat. Uebertrüge man in der angegebenen Weise alle Richtungen des Fernrohrs während eines ganzen Umlaufes der Erde auf die Sonne, so würde man einen Kegel erhalten, dessen Spitze in dem Mittelpunkte der Sonne liegt, und dessen Grundfläche am Himmel eine Ellipse $bcad$ bildet, deren große Achse einen scheinbaren Durchmesser von 40″,5 hat. Diese Aberrations-Ellipse ist von der parallaktischen Ellipse wesentlich verschieden: Sie ist für alle Sterne gleich groß, und ihre große Achse ist stets der Ekliptik parallel. In den Polen der Ekliptik ist sie, wie bei der Parallaxe, am breitesten, und für alle Sterne in der Ekliptik eine gerade Linie.

Diese merkwürdige Bewegung der Fixsterne giebt uns einmal einen neuen Beweis, daß das Licht in der That einer Zeit bedarf, um sich fortzupflanzen, und zwar mit der von *Olauf Römer* S. 378 ziemlich genau bestimmten Geschwindigkeit; andererseits wird durch sie jeder Fixstern zu einem Zeugen für die Bewegung der Erde um die Sonne, wenn es in dieser Beziehung noch eines Beweises bedürfte; denn jeder Stern zeichnet gleichsam in seiner Aberrations-Ellipse eine Ellipse auf den Himmel, welche die Erdbahn so darstellt, wie sie von den verschiedenen Fixsternen aus, könnte sie anders wahrgenommen werden, erscheinen muß. Ein treues Bild der Erdbahn ist die Aberrations-Ellipse nur bei den Sternen, die in den Polen der Ekliptik sich befinden.

Da die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, 4,119 Mln. in 1 Sek., und die Geschwindigkeit des Lichtes von 41900 Mln. in 1 Sek. bekannt sind, so genügt eine einfache Rechnung, die Größe des Halbmessers der Aberrations-Ellipse zu finden. Die Geschwindigkeit der Erde ist $\frac{1}{10172,37}$ der des Lichtes, und diese Zahl zeigt die Größe der Neigung des Fernrohrs gegen die Richtung der Lichtstrahlen an. Indem es sich aber darum handelt, die Größe der halben Achse der Aberrations-Ellipse und zwar in Bogensekunden zu finden, so muß die Größe der halben Achse der Erdbahn in Sekunden ausgedrückt werden. Nehmen wir die Erdbahn als einen Kreis an, so ist der 360° zählende Umfang derselben gleich 1296000″, und da nun der Umfang eines Kreises $= 2r.\pi$ ($\pi = 3,141592$) ist, so erhält man r, d. i. den Halbmesser, indem man den Umfang mit 2 . 3,141592 = 6,283184 dividirt; darum ist $r = \frac{1296000''}{6,283184} = 206264'',85$. Dividirt man diese Zahl mit der oben genannten, das Verhältnis der Erd- und Lichtgeschwindigkeit angebenden Zahl, so erhält man den Halbmesser der Aberrations-Ellipse $= \frac{206264'',85}{10172,37} = 20'',27$, eine Zahl, die mit der von ***Bradley*** gefundenen sehr nahe übereinstimmt.

V. Präcession und Nutation.

Außer der Aberration entdeckte *Bradley* noch andere feine Bewegungen der Fixsterne, nämlich die mit der schon bekannten Präcession verbundene Nutation.

1. **Verlauf der Präcession.** Wir wissen bereits, daß die beiden Aequinoctialpunkte nicht feste Punkte sind, sondern daß sie sich langsam gegen die Ordnung der Zeichen in der Ekliptik herumbewegen und allmählich einen ganzen Umlauf vollenden. Diese eigenthümliche Bewegung ist unter dem Namen des Vorrückens der Nachtgleichen oder der Präcession bekannt. Will man sich von dem Verlaufe derselben eine genauere Vorstellung bilden, so erwäge man Folgendes:

Bekanntlich giebt die verlängerte Erdachse die Himmels- oder Weltachse, deren Endpunkte die Himmelspole sind. Von der Lage der Erdachse hängt darum die Lage der Himmelsachse und der Himmelspole, und somit auch des Himmelsäquators und der übrigen Parallelkreise ab. Behielte die Erdachse bei der Bewegung der Erde um die Sonne genau ihren Parallelismus bei, so müßte auch (die Fixsterne als absolut unbeweglich gedacht) die Himmelsachse und der Himmelsäquator immer dieselbe Lage zu den Fixsternen beibehalten. Dies ist aber genau genommen nicht der Fall; denn wegen der abgeplatteten Gestalt der Erde und der dadurch bedingten eigenthümlichen Wirkung der Anziehung des Mondes auf die Erde verändert sich, wenn auch langsam, die Lage der Erdachse; sie wird beständig ein wenig von ihrem Parallelismus abgelenkt, welcher Bewegung der Erdäquator folgt, und da nun dieser die Lage des Himmelsäquators bestimmt, auch der letztere. Darum müssen auch die Durchschnittspunkte des Himmelsäquators und der Ekliptik, die Aequinoctialpunkte, eine andere Lage in der fest zu denkenden Ekliptik erhalten, und wie gesagt, schreiten dieselben langsam von O. nach W. oder gegen die Ordnung der Zeichen fort. Der jährliche Werth dieser Präcession der Nachtgleichen beträgt 50″,221, in einem Jahrhundert $1^{0}3947$, so daß die Aequinoctialpunkte in c. 25000 Jahren einen ganzen Umlauf in der Ekliptik vollenden werden.

2. **Aenderung der Länge der Sterne.** Da man nun vom Frühlingspunkte die Länge aller Sterne bestimmt, dieser aber in einer langsamen retrograden Bewegung begriffen ist, so muß dadurch die Länge aller Sterne größer und größer werden. Dies bemerkte schon *Hipparch* 130 v. Chr., indem er die von ihm beobachtete Position der Sterne mit älteren Angaben verglich. Seit jener Zeit sind 1999 Jahre verflossen, und die Länge der Sterne hat darum $1999 \times 50'',221 = 27^{0}\ 53'\ 11'',78$ zugenommen. Da man den jährlichen Werth der Präcession kennt, so ist es möglich, für irgend eine Zeit rückwärts oder vorwärts die Länge zu berechnen, die ein in seiner Position gegenwärtig bekannter Fixstern einst gehabt hat oder haben wird. Wegen der Präcession wird der Frühlingspunkt allmählich durch alle Sternbilder des Thierkreises

rücken. Gegenwärtig liegt er nicht mehr im Sternbilde des Widders, sondern in dem der Fische, c. 30° von dem ersteren entfernt. Die Rechnung zeigt, daß der Frühlingspunkt im Jahre 320 v. Chr. in der Brust des Widders, im Jahre 2470 v. Chr. in den Hyaden im Stier, und im Jahre 6770 vor unserer Zeitrechnung in der Mitte des Krebses lag. Dagegen wird er im Jahre 4000 n. Chr. in der Mitte des Wassermannes, und im Jahre 8300 in der Spitze des Schützen oder nahe dem heutigen Winter-Solstitialpunkte sich befinden. Wäre uns ein Thierkreis der Vorzeit mit Angabe der damaligen Lage des Frühlingspunktes aufbewahrt, so würde man heute leicht im stande sein, auf das Alter des Denkmals zu schließen. In der That haben Darstellungen des Zodiakus in den merkwürdigen Tempelruinen von *Denderah* und *Esneh* in Oberägypten zu solchen Zeitbestimmungen Veranlassung gegeben*).

Aber nicht nur die Länge, sondern auch die Rectascension und selbst die Deklination der Fixsterne werden von der Präcession berührt, während die Breite derselben (kleine Aenderungen ausgenommen) im allgemeinen unverändert bleibt.

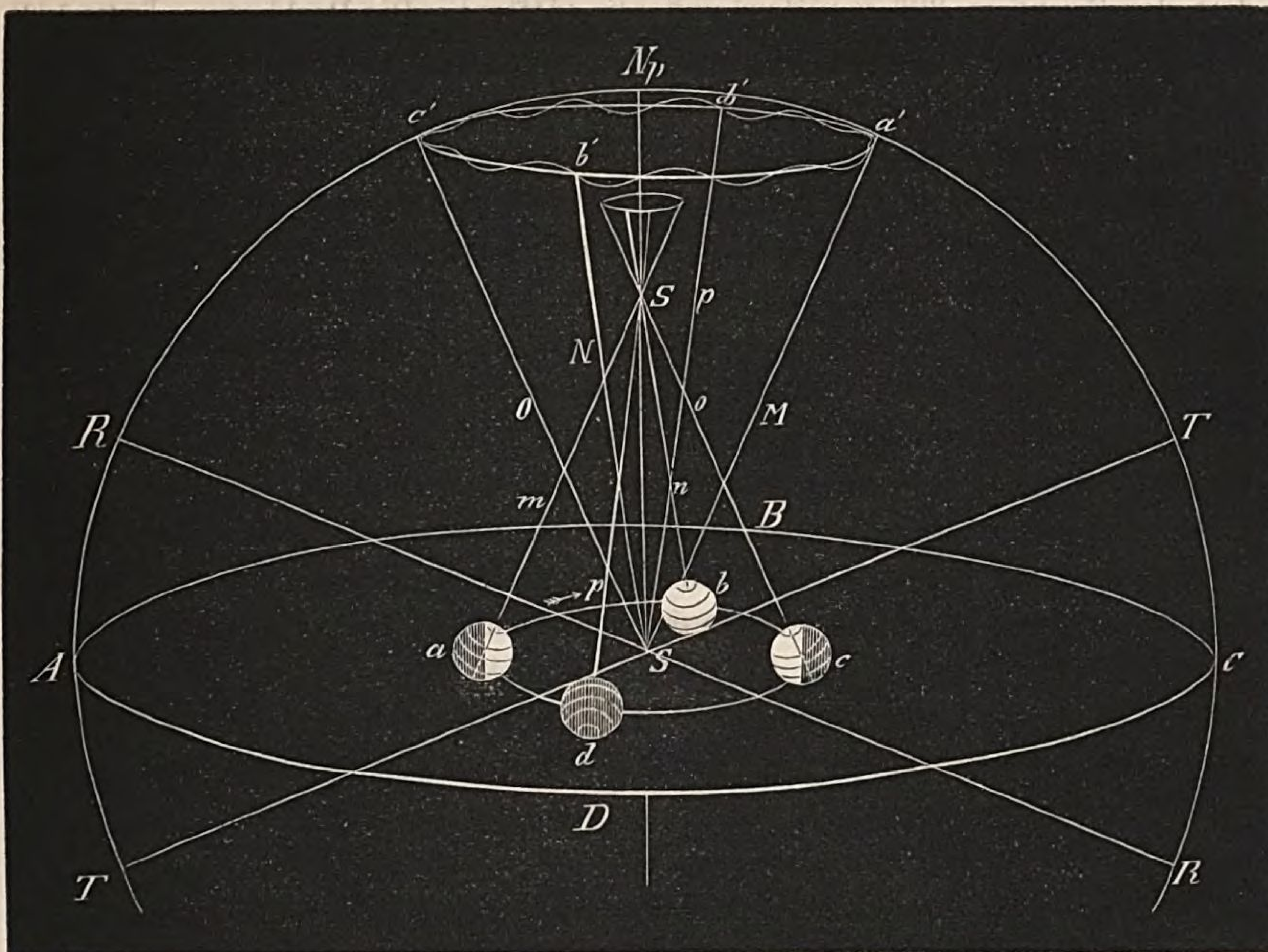
3. **Polarsterne zu verschiedenen Zeiten.** Da die Präcession eine Folge der veränderten Lage der Erdachse ist, so kann unmöglich die verlängerte Erdachse immer denselben Punkt des Himmels treffen; der heutige Polarstern kann deshalb nicht immer Polarstern gewesen sein, und wird es in Zukunft nicht sein. Jetzt steht der Schwanzstern des kleinen Bären nahe dem Nordpole des Himmels; er ist nur $1^1/_2{}^0$ von diesem Pole entfernt. Bis zum Jahre 2100 wird der Pol sich ihm aber noch mehr nähern und dann nur 28′ von ihm abstehen. Dann wird der Pol sich wieder von ihm entfernen, und im Jahre 4100 n. Chr. wird der Stern γ, dann α des Cepheus, später α oder Deneb des Schwans, und im Jahre 14000 α Lyrae oder die Wega, die jetzt 38° vom Pole absteht, Polarstern sein in einer Entfernung von 5°. Im Jahre 2700 v. Chr. aber war α des Drachen dem Nordpole des Himmels am nächsten.

Man findet alle die Sterne, die nach und nach Polarsterne werden, wenn man auf einem Himmelsglobus vom Pole der Ekliptik als Mittelpunkt aus einen Kreis beschreibt, dessen Halbmesser der Schiefe der Ekliptik gleich ist, also $23^1/_2{}^0$ beträgt. Denn offenbar müssen die Pole des Himmels um die festen Pole der Ekliptik einen Kreis beschreiben, dessen Halbmesser gleich dem Winkel ist, um den die Erdachse von der senkrechten Stellung zur Ekliptik abweicht. Die *Fig. 127* wird die Sache deutlicher machen.

4. **Veranschaulichung.** Es sei der äußerste Kreis ein größter Kreis der Himmelskugel, *ABCD* die feste Ekliptik, *abcd* die Erdbahn, in welcher die Erde in vier Stellungen dargestellt ist, die sie von c. 6000 zu 6000 Jahren infolge der Präcession einnehmen wird. Es ist leicht ersichtlich, wie die verlängerte Erdachse zu verschiedenen Zeiten verschiedene Punkte des Himmels

*) Eine ganz genaue Rechnung hat aber Schwierigkeiten, da die Präcession nicht unveränderlich ist.

Fig. 127.



treffen, sich in einem Punkte der Achse der Ekliptik, in *s*, schneiden und den Mantel eines Kegels beschreiben muß, auf dessen Spitze *s* sich durch Verlängerung der gedachten Erdachsen (der Linien *m*, *n*, *o*, *p*) über *s* hinaus ein zweiter Kegel setzt, dessen Grundfläche am Himmel liegt. Da aber wegen der unermeßlichen Entfernung der Fixsterne die Ekliptik als ein Punkt angesehen werden kann, so können die Linien *m*, *n*, *o*, *p* auch auf die Sonne übertragen werden, indem man die mit *m*, *n*, *o*, *p* parallelen Linien *M*, *N*, *O*, *P* zieht. Ist die Erde in *a*, *b*, *c*, *d*, so liegt der Nordpol des Aequators resp. in *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, und es hat die Erdachse nach einer ganzen Schwenkung in c. 25000 Jahren um den Nordpol der Ekliptik *Np* einen Kreis von $23^1/_2{}^0$ Halbmesser beschrieben. Für zwei der bezeichneten Stellungen der Erde, in *a* und *c*, ist die Lage der Aequatorebene durch die Linie *RR* resp. *TT* angedeutet worden. Das Gesagte könnte etwa so ausgedrückt werden: Bei der Präcession beschreibt die verlängert gedachte Erdachse in c. 25000 Jahren den Mantel eines Kegels, dessen Spitze in der Sonne und dessen Grundfläche am Himmel ein Kreis von $23^1/_2{}^0$ Halbmesser ist.

5. **Von der Nutation.** Aber so einförmig, wie bisher angenommen worden, ändert die Erdachse ihre Lage nicht, und die Entdeckung der Unregelmäßigkeit ist das Verdienst *Bradleys*. Er entdeckte, daß bei der Präcession sich noch kleine Unregelmäßigkeiten bemerklich machten, die in $18^1/_2$ Jahren sich in derselben Weise wiederholten. Er fand nämlich, daß die Sterne, die

in dem Colur der Solstitien stehen, ihre Deklination um nahe 10″ weniger änderten, als dies wegen der durch die Präcession veränderten Lage des Himmelsäquators der Fall sein müßte, daß dagegen bei den Sternen im Aequinoctien-Colur die Deklination um fast 10″ mehr verändert war. Aus den Beobachtungen ergab sich, daß die Erdachse nicht so gleichförmig sich herumschwenke, daß die Pole des Aequators einen Kreis um die Pole der Ekliptik und die Achse den Mantel des oben bezeichneten Kegels beschreiben, sondern daß die Achse bald außerhalb, bald innerhalb dieses Kegelmantels sei, und daß demnach die Pole etwa solche Curven machen, wie sie *Fig. 127* als den Kreis $a'b'c'd'$ begleitend darstellt. Könnte diese Abweichung von der einfacheren Bewegung der Pole sich allein geltend machen, so würden die Pole des Aequators kleine Ellipsen beschreiben, deren Mittelpunkt in jenem Kreise $a'b'c'd'$ von $23\frac{1}{2}^0$ Halbmesser liegt. Da aber die fortschreitende Bewegung der Pole bei der Präcession größer als die Bewegung derselben in der kleinen Ellipse ist, so löset sich diese in zwei Curven auf, von denen die eine außerhalb, die andere innerhalb der Peripherie des bekannten Kreises liegt, wie wir Aehnliches bei der Mondbahn kennen gelernt haben. Während also die Erdachse sich schwenkt, wankt sie ein wenig infolge der Anziehung des Mondes auf die abgeplattete Erde, und man nennt deshalb diese letztere Bewegung das Wanken der Erdachse oder die Nutation. Die Bewegung des Frühlingspunktes setzt sich deshalb aus zwei Theilen, aus einer fortschreitenden und einer zurückweichenden Bewegung zusammen; da aber die erstere größer ist als die letztere, so bleibt im allgemeinen eine (ungleichmäßig) fortschreitende Bewegung übrig. Diese fortschreitende Bewegung ist aber gegen die Ordnung der Zeichen gerichtet und das, was als Präcession zum Ausdruck kommt.

VI. Eigenbewegung der Fixsterne.

1. **Alle Fixsterne sind in Bewegung.** Daß Fixsterne sich um einander bewegen, haben wir bereits bei Besprechung der Doppelsterne kennen gelernt; aber außer dieser Bewegung um einander oder um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt verändern die Fixsterne auch sonst noch ihren Ort im Weltenraume, d. h. sie schreiten fort, und kein Fixstern am ganzen Himmel verharrt an seinem Orte: Alles ist in Bewegung, unsere Sonne nicht ausgenommen. Das Vorhandensein und die Größe der Eigenbewegung der Fixsterne zu bestimmen, war nur mittelst der außerordentlich vervollkommneten Instrumente und durch Vergleichung der jetzigen Position der Fixsterne in zuverlässigen Sternkatalogen mit früheren Positionen möglich. In Beziehung auf Sternkataloge haben besonders *W. Herschel*, *Bessel* und *Argelander* viel geleistet.

2. **Größe der Bewegung.** Die Größe der Ortsveränderung, welche manche Fixsterne infolge der Eigenbewegung in historischer Zeit bereits zeigen,

ist bedeutender, als man glauben sollte. So haben in c. 2000 Jahren die Sterne Arkturus, μ der Cassiopeja und der Stern 61 im Schwan ihre Stellung um resp. 2½, 3½ und 6 Vollmondsbreiten verändert, Ortsveränderungen, die bedeutend genug sind, um selbst mit bloßen Augen ohne genauere Messungen wahrgenommen werden zu können, und nach c. 3000 Jahren werden etwa 20 Fixsterne ihren Standort um 1^0 geändert haben. Auch der Stern 34 des *Groombridge*schen Katalogs hat eine starke Eigenbewegung gezeigt. Es muß dadurch allmählich ein Einfluß auf den Anblick des gestirnten Himmels ausgeübt werden. So wird das schöne Kreuz des Südens, dessen vier Hauptsterne gegenwärtig noch ziemlich genau die Form eines römischen Kreuzes bilden, sich allmählich verschieben, weil die einzelnen Sterne desselben sich in verschiedener Weise bewegen, und Aehnliches wird mit mancher anderen Constellation geschehen. Wenn auch während eines Menschenlebens der Anblick des gestirnten Himmels ziemlich genau derselbe bleibt, so müssen im Laufe der Zeit doch mehr oder weniger merkliche Veränderungen sich offenbaren. *A. v. Humboldt* nennt besonders 6 Dinge als auf den Anblick des gestirnten Himmels verändernd einwirkend, nämlich 1) die Präcession der Nachtgleichen, wodurch der Anblick des gestirnten Himmels in den einzelnen Jahreszeiten allmählich ein anderer werden muß, 2) die Nutation, durch welche für einen Erdort ein Stern über den Horizont treten oder verschwinden kann, 3) die Veränderlichkeit der Lichtstärke, 4) das Auflodern neuer Sterne, 5) die Eigenbewegung der Fixsterne, 6) das Kreisen der Doppelsterne um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt, was freilich nur für den Anblick des Himmels durch das Fernrohr von Einfluß ist.

In Beziehung auf die Eigenbewegung hat man die Erfahrung gemacht, daß sich große Sterne im allgemeinen weniger bedeutend bewegen, als Sterne 5. bis 7. Größe. Die Größe der jährlichen Eigenbewegung der Fixsterne schwankt, so weit jetzt bekannt, zwischen $1/20''$ und $8''$; das arithmetische Mittel aus allen bekannten Bewegungen würde nach *Mädler* jährlich kaum 0'',102 übersteigen. Besonders sind es 7 Sterne, die sich durch ihre verhältnismäßig bedeutende Ortsveränderung auszeichnen; es sind dieselben nach *Humboldt*:

Stern	Klasse Grösse	Ortsveränderung ''
1) Arkturus	Stern 1ter	= 2,25
2) α des Centauren . . .	„ 1 „	= 3,58
3) μ der Cassiopeja . .	„ 6 „	= 3,74
4) δ des Eridanus . . . Doppel-	„ 5 „ bis 4ter	= 4,08
5) 61 des Schwans . . . „	„ 5 „ bis 6ter	= 5,123
6) Nr. 1830 Groombridge	„ 7 „	= 6,974
7) ε des Inders	„ —	= 7,74

Bessel, der eifrigste Beobachter der Eigenbewegung der Fixsterne, entdeckte in dieser Beziehung mancherlei Unregelmäßigkeiten, und er war geneigt, die-

selben durch Bewegung von Fixsternen um dunkle Himmelskörper zu erklären. Besonders sind 2 Sterne in dieser Beziehung wichtig geworden, nämlich Prokyon und Sirius, bei denen eine periodische Aenderung der Rectascension und der Deklination sich herausgestellt hat. Der Neuzeit ist es gelungen, beide Sterne als Doppelsterne zu erkennen. Der schwache Begleiter des Sirius wurde zuerst von *Clark* in Boston am 31. Jan. 1862 entdeckt, und ist seitdem mehrfach mit den stärksten Fernröhren gesehen worden. Die von *Auwers* berechneten Bahnen haben wir S. 470 bei den Doppelsternen angegeben.

3. **Eigenbewegung der Sonne.** Von allen Fixsternen mußte besonders die Sonne die Aufmerksamkeit der Astronomen auf sich ziehen, da es jedenfalls interessant und wichtig ist, über die Richtung und Größe ihrer Eigenbewegung ins Klare zu kommen. Daß die Sonne fortschreitet, darüber findet kein Streit mehr statt, und an ihrer Bewegung müssen natürlich alle sie umkreisenden Himmelskörper, d. h. das ganze Sonnensystem, theilnehmen. Dadurch wird aber die Aufgabe, die Parallaxe, Nutation, die Eigenbewegung etc. der Fixsterne zu bestimmen, eine außerordentlich schwierige, da die Veränderlichkeit des Beobachtungsortes einen Antheil an den bei den Sternen beobachteten Veränderungen haben muß, es aber schwer ist, diesen Antheil zu bestimmen.

4. **Richtung dieser Bewegung.** Verschiedene Astronomen haben sich bemüht, die Richtung und die Größe der fortschreitenden Bewegung der Sonne wenigstens annähernd zu bestimmen, und in ersterer Beziehung ist man zu ziemlich übereinstimmenden Resultaten gelangt, wie gleich mitgetheilt werden wird.

Bradley ahnte bereits die fortschreitende Bewegung des ganzen Sonnensystems; doch *S. W. Herschel* begründete seine Ansicht durch die Resultate gemachter Beobachtungen und bestimmte als den Ort des Himmels, nach welchem gegenwärtig jene Bewegung gerichtet sei, das Sternbild des Herkules. Nach ihm liegt der Punkt, auf welchen jetzt die Sonne zuschreitet, in *AR* 260° 44′ und + *D* 26° 16′ (für 1800). *Argelander* fand durch Vergleichung von 319 Sternen für 1850: *AR* 258° 23′,5 und + *D* 28° 45′,6, und *O. Struve* für dieselbe Zeit *AR* 261° 52′,6 und + *D* 37° 33′. *Gauss* hingegen bestimmte jenen Punkt in einem Viereck, dessen vier Ecken liegen in:

AR 258° 40′ und + *D* 30° 40′
AR 258° 42′ „ + *D* 30° 57′
AR 259° 13′ „ + *D* 31° 9′
AR 260° 4′ „ + *D* 30° 32′.

Dunkin findet als Grenzen des Raumes, in welchem der Punkt liegt, auf den zu die Sonne sich bewegt, mit Benutzung von 1167 in den letzten Jahren zu Greenwich häufiger beobachteten Sternen: *AR* 261° 14′, + *D* 32° 55′ und *AR* 263° 43′ 9″, + *D* 25° 0′,5.

Diesen Ortsbestimmungen, durch Vergleichung von Sternen der nördlichen Halbkugel gewonnen, fügte *Galloway*, gestützt auf Beobachtungen des süd-

lichen Himmels, eine neue hinzu; er fand für 1800: *AR* 260° 5′ und + *D* 34° 22′, und für 1850: *AR* 260° 33′ und + *D* 34° 20′. *Plana* aber bestimmte aus denselben Beobachtungen am südlichen Himmel den in Rede stehenden Punkt in *AR* 260° 11′ und + *D* 36° 54′, ein Resultat, das dem von *O. Struve* gefundenen sich noch mehr nähert.

Wenn wir diese verschiedenen Ortsbestimmungen anführten, so geschah es, um zu zeigen, wie weit und wie gut im allgemeinen die verschiedenen Resultate zusammenstimmen. Die Frage nach der Richtung der Bewegung des Sonnensystems kann demnach als ziemlich gelöst betrachtet werden.

Aber welche Form hat die Bahn der Sonne? Ist sie eine geschlossene Curve? Bewegt sie sich um einen Centralkörper, oder um einen mit Masse nicht erfüllten Schwerpunkt? Diese und ähnliche Fragen mit einiger Zuverlässigkeit zu beantworten, ist bisher noch nicht möglich gewesen, wenngleich die Lösung versucht worden ist.

5. **Mädlers Ansicht über die Centralsonne.** Man ist gegenwärtig ziemlich allgemein der Ansicht, daß alle Fixsterne, die sich unserer Betrachtung darbieten, auch diejenigen, deren Licht zu dem weißlichen Schimmer der Milchstraße zusammenfließt, ein großes Sternsystem ausmachen, zwischen dessen Gliedern dieselben Kräfte wirksam seien, die im Sonnensystem herrschen und dasselbe zusammenhalten. Man pflegt es das Milchstraßen-System zu nennen, weil die größte Zahl von Sternen, nach *Herschel* etwa 18 millionen, in diesem merkwürdigen Ringe vereinigt sind. Da die Zahl der übrigen, zu den Seiten der Milchstraße stehenden Sterne nach der Meinung des genannten großen Astronomen auf etwa 2 millionen geschätzt werden kann, so würden c. 20 millionen Fixsterne das Sternsystem zusammensetzen, in dessen sternärmsten Theilen unsere Sonne ziemlich einsam weilt. Unter der Annahme, daß die Fixsterne im allgemeinen nach allen Richtungen gleich dicht stünden, hat *Herschel* durch seine interessanten Sternaichungen die Ausdehnung und Gestalt unserer »Weltinsel« zu bestimmen versucht und gefunden, daß dieselbe im ganzen eine linsenförmige Gestalt haben müsse, deren halbe kleine Achse nach den Polen der Milchstraße zu (beim Hauptthaar der Berenice und südlich vom Sternbilde der Fische in der Nähe der Bildhauerwerkstatt) 79, und dessen halbe große Achse in der Richtung der Milchstraße c. 497 Siriusweiten (à 18,5 bill. Mln.) betrage, so daß sich also beide Achsen etwa wie 1 : 6,3 verhielten. Unsere Sonne steht gegenwärtig nicht in der Ebene der Milchstraße, sondern seitlich davon, und zwar nach der Seite der größeren der beiden Himmelshälften hin, in welche die Milchstraße den Himmel theilt; außerdem steht sie den Sternen der südlichen Hemisphäre näher als denen der nördlichen. Diese einseitige Stellung der Sonne dürfte, wenigstens zum Theil, der Grund sein, warum wir die Milchstraße vom Ophiuchus an bis über den Südpol hinaus getheilt sehen. Wenn aber alle Sterne des Milchstraßen-Systems ein Ganzes bilden, in welchem, wie in den Doppel- und mehrfachen Sternen, die Attraktionskraft wirksam ist, so müssen auch alle in Bewegung sein. Daß es bereits

gelungen ist, bei einer nicht unbedeutenden Zahl von Fixsternen sogenannte Eigenbewegungen zu entdecken, ist bereits gesagt worden, und namentlich ist es *Mädler* gewesen, der durch Vergleichung dieser Bewegungen an mehreren Tausend Sternen, namentlich an den in ihren Positionen so genau bestimmten 3222 Sternen des *Bradley*schen Katalogs, wo möglich zu dem Sterne oder der Sterngruppe, der Centralsonne, zu gelangen versucht hat, um welche alle Sterne des Milchstraßen-Systems sich bewegen. Es würde uns zu weit führen, den Gedankengang, der *Mädler* bei seinen Untersuchungen geleitet hat, hier ausführlich zu entwickeln*); wir müssen uns damit begnügen, in Kürze die wahrscheinlichen Resultate seiner Forschungen mitzutheilen.

Mädler führten seine mühsamen Untersuchungen dahin, »die reiche und glänzende Plejadengruppe als das allgemeine Bewegungscentrum anzunehmen für alle die Millionen Sonnen, mit Inbegriff ihrer eigenen Systeme, und bis zu den entferntesten Regionen der Milchstraße hin«, und wenn dieses Centrum in einen Stern falle, so habe der glänzendste Stern jener Gruppe, Alkyone, sinnig »die Gluckhenne mit den Küchelchen« genannt, den meisten Anspruch darauf, dieser Stern, die Centralsonne, zu sein. Die Umlaufszeiten innerhalb des Plejadensystems dürften auf 2 mill. Jahre zu schätzen sein.

»Zunächst um diese Gruppe, deren Durchmesser etwa auf $^1/_{40}$ ihrer Entfernung von unserer Sonne zu setzen ist, befindet sich ein verhältnismäßig sternarmer Raum, der sich bis in eine etwa dem 6fachen Durchmesser der Gruppe gleiche Entfernung nach allen Richtungen herumzieht, wo dann wieder eine reichere Zone beginnt. Ob diese Zone sich in der Wirklichkeit ringförmig gestalte, von welcher Breite und Mächtigkeit sie sei u. dgl. m., dies werden erst spätere Untersuchungen mit Sicherheit erörtern können. Mir ist es nach den bis jetzt vorliegenden Thatsachen wahrscheinlich, daß von Alkyone und der Mittelgruppe an nach allen Seiten sternarme und sternreiche Regionen auf einander folgend abwechseln, und daß diese Regionen sich vorherrschend ringförmig gestalten. Die äußersten Theile dieser Region bilden übrigens ziemlich bestimmt einen Ring; denn hier häufen sich die Sterne 7. bis 10. und 11. Größe ungewöhnlich an, theils auf dem Grunde der Milchstraße, theils nahe an ihren Grenzen hinziehend. Schon ein mäßiges Fernrohr zeigt die Sterne dieses Ringes mit hinreichender Deutlichkeit einzeln, während die weiter entfernte eigentliche Milchstraße nur in sehr beträchtlichen Fernröhren auflöslich ist. Diese besteht aus wenigstens zwei hintereinander liegenden, nahezu concentrischen Ringen, mit einem durch brückenartige Verbindungsglieder unterbrochenen, sternarmen Zwischenraume. Ob hinter diesen beiden Ringen, welche auf der südlichen Halbkugel im Skorpion und dem südlichen Kreuz besonders glänzend erscheinen und bis auf $^2/_5$ ihres Zuges uns getrennt erscheinen, noch mehrere ähnlicher Art sich hinziehen, vermögen wir nicht zu erforschen. Es scheint aber, daß

*) Genaueres findet man in der Schrift: Die Centralsonne von Dr. *J. H. Mädler*, Mitau und Leipzig.

ein unaufgelöster Lichtschimmer auch in den kräftigsten Instrumenten noch übrigbleibe, und solchergestalt das, was wir als einzelne Sternpunkte dort erblicken, keineswegs das Ganze sei«.

Wenn dies aber so ist, so dürfte die Zahl der Sterne, die wir oben auf c. 20 mill. geschätzt haben, ins Unvorstellbare wachsen. Und doch ist unser Sternsystem wahrscheinlich nur eines von den zahlreichen andern Sternsystemen, die sich uns in der Form der Nebelflecke darstellen, und von denen einige einen ähnlichen Bau wie unser Milchstraßen-System zu besitzen scheinen. Man denke an den elliptischen Nebel in der Andromeda, S. 475, und an die ringförmigen Nebel, deren einer S. 476 dargestellt ist. Auch unser Sternsystem würde sich ähnlich darstellen, wenn wir den Standpunkt darnach wählen könnten. Stehen jene fernen Sternsysteme, die in kaum wahrnehmbarem Dämmerlichte zu uns herüberleuchten, und deren fernste *Herschel* in 10000 Siriusweiten von unserer Erde zu setzen geneigt ist, durch dasselbe unsichtbare Band der Anziehung, welches unser Sonnensystem zusammenhält, Fixsterne um Fixsterne wandern läßt, untereinander und mit unserer Welteninsel in Verbindung? Der Mensch ist geneigt, diese Frage zu bejahen, ohne die Richtigkeit des Ja beweisen zu können. Lehrt ihn doch die ihm zugängliche Welt der Erscheinungen, daß ein unsichtbares Band das oft scheinbar Fremdartigste verbindet und zu einem herrlichen Ganzen verknüpft. Es ist einem denkenden Geiste fast Bedürfnis, das räumlich noch so sehr Getrennte als zu einer Einheit verbunden zu betrachten; außerdem erscheint die erhabene Einfachheit im scheinbar so verwickelten Bau der Welt des göttlichen Meisters würdig, der mit einfachen Mitteln überall Großes und Herrliches in der Natur hervorgebracht hat.

Schließlich theilen wir noch mit, zu welchen Resultaten *Mädlers* Untersuchungen hinsichtlich der Bewegung unserer Sonne gelangt sind. Der Stern Alkyone zeigt in einem Jahrhundert, von der Sonne aus gesehen, eine Winkelbewegung von 5″,82. Nehmen wir den Stern als feststehend an, so ist diese Bewegung des Sternes nur eine scheinbare und das Maß für die Bewegung unserer Sonne in einem Jahrhundert. Bewegt sich diese nun in einem Kreise, was wir freilich nicht wissen, so muß sie ihren ganzen Umlauf in etwa $22^1/_2$ mill. Jahren vollenden. Durch Vergleichung Alkyones mit dem in seiner Parallaxe und Eigenbewegung am besten bekannten Stern 61 im Schwan, mit dem unsere Sonne etwa gleichen Abstand vom Schwerpunkt des Systems haben dürfte, kommt *Mädler* zu einer Entfernung der Sonne von diesem Schwerpunkt = $36^1/_4$ mill. Sonnenweiten, was einem Lichtwege von 573 Jahren gleichkommt. Die Geschwindigkeit in 1 Sek. beträgt etwa $7^1/_3$ Mln., fast genau die des Merkur in seiner Sonnennähe. Daß diese Zahlen nicht auf absolute Richtigkeit Anspruch machen können, folgt aus der Lage der Sache; es sind aber immerhin interessante Versuche zur Lösung der schwierigen Aufgabe.

VII. Von den Sternbildern.

1. **Entstehung der Sternbilder.** Betrachtet man den gestirnten Himmel, so scheint das Auge auf den ersten Blick kaum im stande, bei der unregelmäßigen Vertheilung der Sterne einen Anhalt zu gewinnen; bei längerer und genauerer Betrachtung machen sich indessen allmählich gewisse Gruppen bemerklich, die sich unserer Aufmerksamkeit fast aufdrängen und, einmal gesehen, uns immer wieder auffallen. Aus den ältesten Nachrichten läßt sich nachweisen, daß schon im Alterthum gewisse, nahe bei einander stehende Sterne in derselben Weise als eine zusammengehörige Gruppe aufgefaßt worden sind, wie dies noch heutzutage geschieht. So waren die Plejaden, die Cassiopeja, der Schwan, der große Bär, der Gürtel des Orion u. a. m. wohlbekannte Gruppen, wenngleich sie andere Namen als die heutigen trugen.

Gewiß ist man schon früh darauf gekommen, solche Sterngruppen mit den Beschäftigungen des gewöhnlichen Lebens in Verbindung zu bringen; namentlich mußte dies bei Völkerschaften geschehen, die viel mit der freien Natur verkehrten, wie etwa die in den weiten Steppen Asiens nomadisirenden Völker, oder die ihre Existenz fast ausschließlich durch Ackerbau und Viehzucht sichernden Aegypter. Die regelmäßige Wiederkehr gewisser Gruppen mußte ihnen dieselben als ein geeignetes Mittel der Zeitbestimmung für die an eine bestimmte Zeit sich bindenden ländlichen Beschäftigungen empfehlen, und endlich wurden solche Sterngruppen, bei der Neigung der Menschen zu symbolisirender Gedankenrichtung, als Symbole dieser Beschäftigungen zu Bildern geformt, die, dem gewöhnlichen Leben entnommen, anfänglich gewiß höchst einfach waren. So ward allmählich, fast unabsichtlich, der Himmel mehr und mehr mit Sternbildern bedeckt, die durch Ueberlieferung zu anderen Völkern gelangten und, da sie von diesen nicht verstanden wurden, die Phantasie dieser Völker anregten und Veranlassung zu den mannigfachsten Deutungen und Mythen wurden. Auch wurden nun wohl mit diesen überlieferten Sternbildern die etwa schon bekannten, selbst gebildeten in Verbindung gebracht und ihnen neue hinzugefügt. Auf diese Weise mußte es endlich in späteren Zeiten schwer werden nachzuweisen, wer die Sternbilder eigentlich erfunden habe, wenn überhaupt dieser Ausdruck hier gebraucht werden darf. Bei Völkern indessen, deren Land ein von der Natur abgeschlossenes war, und dessen Lage und Gestaltung den Verkehr mit andern Völkern erschwerte, mußten die Bedingungen einer mehr selbstständigen Schöpfung in erhöhtem Maße vorhanden sein, und die mit Sternbildern belebte Sphäre durch längere Zeiträume hindurch ihren ursprünglichen Charakter bewahren.

Ein Volk der vorerwähnten Art waren die alten Aegypter, und in der That weisen die sorgfältigsten und vielseitigsten Forschungen, welche man dem Gegenstande gewidmet hat, auf dieses Land als auf dasjenige hin, in welchem ein großer Theil der uns aus dem Alterthume überlieferten Sternbilder seinen

Ursprung haben dürfte. Ein anderes Volk, das den Aegyptern die Erfindung streitig machen könnte, waren die der Sterndeutekunst einen so hohen Werth beilegenden Chaldäer, und die genannten beiden Völker sind es vornehmlich, zwischen welchen die Meinungen der Gelehrten getheilt sind. Ueber die Chaldäer ist uns aus alten Schriften wenig, weit mehr über die alten Aegypter bekannt, und seit dem Ende des 18. Jahrhunderts bis in die neueste Zeit haben eigenthümliche Darstellungen des Thierkreises an den Wänden und Decken der großen Tempelruinen zu Denderah und Esneh in Ober-Aegypten über die Entstehung und das Alter der betreffenden Sternbilder lebhafte Erörterungen hervorgerufen. Wer diese specieller verfolgen will, den verweisen wir auf ein Werk des verstorbenen Direktor *v. Kloeden*, betitelt: »Der Sternenhimmel«, Weimar 1848, in dem der Gegenstand mit großer Ausführlichkeit behandelt ist.

2. **Der Thierkreis, wahrscheinlich in Aegypten entstanden.** Nach der Meinung des genannten Verfassers ist wahrscheinlich der Zodiakus zuerst in der oben angedeuteten Weise mit Sternbildern bedeckt worden, und zwar derart, daß man denjenigen Sterngruppen, die der Sonne gerade gegenüber oder kurz vor ihr auf- oder untergingen, (heliakischer Auf- und Untergang) eine besondere Beachtung widmete. *v. Kloeden* hat a. a. O. versucht, die Sternbilder des Zodiakus als mit den Beschäftigungen der alten Aegypter in enger Verbindung stehend nachzuweisen, und wir folgen ihm, indem wir hier das Wesentlichste über diesen Gegenstand beibringen. Nach dem übereinstimmenden Zeugnis aller alten Schriftsteller bestimmten die alten Aegypter den Anfang ihres Jahres nach dem Frühaufgange (heliakischen Aufgange) des Sirius (von den Aegyptern Thoth genannt, welches Wort die Griechen in Sothis verwandelten), d. h. nach der Zeit, nach Verlauf welcher dieser helle Stern zum erstenmale wieder vor Sonnenaufgang in der Morgendämmerung sichtbar wurde, und man rechnete auf diese Weise das Jahr anfangs zu 360, später, als man den Irrthum gewahr wurde, zu 365 Tagen. So wurde also dieser helle Stern gleichsam zum Wächter des Jahresanfangs, und es gab kein besseres Symbol für diesen Wächter als den Hund. So entstand vielleicht das Sternbild des großen Hundes mit dem Sirius, auf dessen baldiges Erscheinen Prokyon im kleinen Hunde als Vorbote aufmerksam machte. Nach den Angaben *Biots* fand der Wechsel des Jahres zu 360 Tagen mit dem zu 365 Tagen am 20. Juli des Jahres 1872 v. Chr. statt, und so weit reicht die Cultur der alten Aegypter gewiß hinauf; an dem genannten Tage fiel der Frühaufgang der Sothis mit dem Sommersolstitium zusammen.

3. **Damalige Lage des Himmelsäquators etc.** Vergegenwärtigt man sich nun die veränderte Lage der Sternbilder wegen der Präcession der Nachtgleichen für die oben angegebene Epoche, so findet man die nach dem Untergange der Sonne dieser gegenüber am Morgenhimmel sichtbar werdenden Sternbilder des Thierkreises mit den damals in Aegypten bestehenden Verhältnissen in merkwürdiger Uebereinstimmung. Da die Präcession der Nacht-

gleichen jährlich 50″,221 beträgt, so fiel im Jahre 1872 v. Chr. der Frühlingspunkt 51° 32′ östlicher als gegenwärtig; er befand sich damals auf der Grenze der beiden Sternbilder Widder und Stier, im Anfang des ersteren. Der Sommersolstitialpunkt hatte eine Länge von 141° 32′; er lag daher im Vorderfuße des Löwen. Der Herbstpunkt hatte eine Länge von 231° 32′; er befand sich am Ende der Wage nahe dem Skorpion, und der Wintersolstitialpunkt lag in 321° 32′ Länge, zwischen Steinbock und Wassermann. Natürlich hatten damals auch der Himmelsäquator und die Pole eine andere als die heutige Lage. So lag der Nordpol in *AR* 204° und *D* + 70° 10′ zwischen dem kleinen Bären und dem Drachen, und der Aequator sowie alle anderen Kreise des Himmels gingen durch andere Sterne. Verändert man an einem Himmelsglobus die Pole in der angedeuteten Weise und stellt man dann denselben für eine Polhöhe von etwa 25° ein, so wird man durch Drehung der Himmelskugel leicht die Sternbilder erkennen, die nach Sonnenuntergang am Morgenhimmel aufgingen, und die eben, wie bereits angedeutet, von den alten Aegyptern mit den Erscheinungen, die ihnen ihr Land im Laufe eines Jahres darbot, in symbolische Verbindung gebracht wurden.

Noch muß erwähnt werden, daß bei den Aegyptern eine eigenthümliche Eintheilung des Jahres in Gebrauch war. Wie noch heute, regelte der Nil, der Segenspendende, alle Thätigkeiten des Volkes. Man unterschied nicht vier, sondern nur drei Jahreszeiten: 1) die der Ueberschwemmung, welche ungefähr mit dem Sommersolstitium begann, 2) die des Wachsthums und 3) die der Ernte, und theilte jede in 4 Monate (Tetramenien).

4. **Deutung der Sternbilder des Thierkreises.** Wie gesagt, begann die Zeit der Ueberschwemmung mit dem Sommersolstitium. Ging zur Zeit dieses Solstitiums im ersten Monat der Ueberschwemmung (der 1. Thoth entspricht dem 20. Juli des julianischen Jahres) die Sonne am Abend unter, so kam ihr gegenüber das Sternbild des Steinbocks herauf. Der Steinbock ist ein Thier, das gern auf die Berge steigt, und es erscheint deshalb als zweckmäßig, dasselbe mit dem beim Sommersolstitium beginnenden Anschwellen des Nils in symbolische Verbindung zu bringen. Daß dieses Sternbild als mit dem Wasser in Verbindung stehend gedacht worden ist, zeigt wohl der fischähnliche Hinterleib, den dieses Thier auf der ägyptischen Sphäre hatte, und mit dem es auch jetzt noch dargestellt zu werden pflegt. Die beiden eigenthümlichen am Kopf des Sternbildes stehenden, leicht kenntlichen Sterne zeigten das Erscheinen der Ueberschwemmung schon einige Zeit vorher an. — Die ebenfalls sehr alten Zeichen für die Sternbilder des Zodiakus sind als Andeutungen, als graphische Abkürzungen des Bildes zu betrachten, und es ist auch im Zeichen des Sternbildes ♑ einige Aehnlichkeit mit dem Bilde wohl zu erkennen.

Im zweiten Monat der Ueberschwemmung (der 1. Paophi = dem 19. August) erreichte der Nil, und zwar ungefähr in der Mitte dieses Monats, seine größte Höhe. Aegypten erschien als ein großer See, auf dessen Wellen die Städte zu schwimmen schienen.

Am Anfange des Monats ging das Sternbild des Wassermanns auf, das auf der ägyptischen Sphäre, etwas abweichend von der jetzt üblichen, den Griechen entlehnten Darstellung des Bildes, einen stehenden Mann zeigt, der aus einem Gefäße einen Wasserstrom gießt. Dieser Strom endigte in dem Rachen eines Fisches, dessen hellster, goldgelb funkelnder Stern, Fomalhaut, genau den Anfang des zweiten Monats bezeichnete. Jetzt wird dieser Fisch nicht mehr zum Wassermann gerechnet. — Daß das bezeichnete Sternbild sehr gut zu dem Zustande Aegyptens paßt, braucht kaum gesagt zu werden. Das Zeichen des Bildes ist das bei den Aegyptern oft gebrauchte Bild des Wassers ♒.

Im dritten Monat der Ueberschwemmung (der 1. Athyr = dem 18. September) verharrte zu Anfange das Wasser noch in seinem hohen Stande, und man lebte gleich den Fischen fast im Wasser. Gegen das Ende des Monats aber trat das Wasser rasch in seine Ufer zurück und ließ nun in den tieferen Einsenkungen des Landes seeartige Stellen zurück. Mit den Wassern Habeschs kommen aber auch jetzt noch ungeheure Scharen kleinerer und größerer Fische nach Aegypten, die nach dem Zurücktreten des Flusses in den Lachen zurückbleiben. Besonders merkwürdig ist der mit Stacheln besetzte Fahaka, der sich den Bauch mit Luft füllt und, nach dem Zurücktreten des Wassers das Gleichgewicht verlierend, auf den Rücken fällt. Dieser Fisch wird von armen Leuten in großen Mengen eingesammelt und gegessen. So ist das Ende des dritten Monats noch heute die Zeit der Fische, und man konnte dies nicht besser bezeichnen, als indem man die nun nach Sonnenuntergang aufgehenden Sterne in das Bild der Fische kleidete. Die ägyptische Sphäre zeigt zwei durch ein V-förmiges Band verbundene Fische. Gleichzeitig mit den Fischen ging nördlich der große Triangel, ein Bild des Delta, auf; denn auch das Nildelta entstieg dem Wasser und kam wieder zum Vorschein. — Das Zeichen der Fische ♓ ist wohl als eine graphische Andeutung der beiden Fische mit dem Bande anzusehen.

Im vierten Monat der Ueberschwemmung (der 1. Choiak = dem 18. October) zog sich der letzte Rest des Wassers zurück, und mehr und mehr trocknete der zurückgebliebene, bräunliche Schlamm zu einer dünnen Schicht fruchtbarer Gartenerde zusammen, der in unglaublich kurzer Zeit die saftigsten und gewürzigsten Kräuter entsprossen. Diese abzuweiden, wurden die Thiere auf die nährende Weide getrieben, bis die Erde Festigkeit genug erhalten hatte, um den Samen aufzunehmen. Man konnte diese Zeit der Weide nicht besser bezeichnen, als indem man die nach Untergang der Sonne im Osten aufgehenden Sterne mit einem Thiere der Weide in Verbindung brachte. Man wählte einen ruhenden Widder und gab ihm das Zeichen ♈, welche Figur wohl den zweihörnigen Kopf des Thieres bezeichnen soll.

Die Zeit des Wachsthums begann mit dem fünften Monat des Jahres (der 1. Tybi = dem 17. November). Der von der Ueberschwemmung zurückgelassene Schlamm hatte die gehörige Festigkeit erlangt, um bearbeitet

werden zu können. Man ritzte die Erde leicht mit einem Pfluge, der von Stieren, die im Alterthum überhaupt gewöhnlich die Feldarbeit verrichteten, gezogen wurde, und übergab der Erde den Samen. Alles war auf den Feldern thätig; der Ackerbau nahm alle in Anspruch. Diesen Monat (November) kündigte Aldebaran mit den Hyaden, sowie die schöne Plejadengruppe schon einige Zeit vorher an. Man vereinigte die nach Sonnenuntergang fast genau im Osten aufgehende Sterngruppe durch das Bild des Stieres, das Bild der Feldarbeit, und die ägyptische Sphäre zeigt einen ganzen Stier, bald der Länge, bald der Quere nach gestellt. Die Griechen zeichneten nur sein Brustbild, wie es jetzt noch geschieht. Das Zeichen ♉ soll wohl den Kopf des Thieres mit den zwei Hörnern bezeichnen.

Der zweite Monat des Wachsthums, der sechste des Jahres (der 1. Mechir = dem 17. December), zeigte die Erde im herrlichsten Schmucke. Alles grünte und blühete und erfüllte das Herz mit der Hoffnung auf eine reiche Ernte. Er war außerdem der Monat der Befruchtung und Paarung, und wahrscheinlich wurden in diesem Monate die Heiraten geschlossen, weil man so hoffen konnte, daß das erste Kindbett in die Zeit der Ueberschwemmung fallen werde, wo die Frauen, die nach dem Zeugnis der Alten die leichte Feldarbeit verrichten mußten, aber nach dem Heiratsvertrage die Herrschaft über den Mann erhielten, wenig zu thun hatten. Es scheint deshalb angemessen, daß man die Sterne, welche in diesem zweiten Monate des Wachsthums der untergehenden Sonne gegenüber aufgingen, in das Bild eines Brautpaars kleidete, wie es die ägyptische Sphäre zeigt. Die Griechen machten aus diesem ihnen vielleicht unverständlichen Bilde die Zwillinge. Das Zeichen dafür, ♊, war nach *Plutarch* schon im Alterthume bei den Spartanern das Zeichen der Zwillinge; jedenfalls deutet es die Zweiheit an.

Der dritte Monat des Wachsthums (der 1. Phamenoth = dem 16. Januar) zeigte die Felder in ähnlichem Zustande wie der vorige; man säete und pflanzte einige neue Pflanzen und erntete in Ober-Aegypten schon Sennesblätter, Klee und Zuckerrohr. Die Sonne hatte sich bis gegen Ende des vorigen Monats (December) immer weiter nach S. vom Zenithe entfernt und dadurch die Tage verkürzt und die Nächte verlängert. Es mußte darum ein Ereignis sein, wenn die Sonne, die sich ganz abzuwenden drohte, wieder umkehrte. Die Aegypter feierten diese Zeit mit festlichen Kleidern und Blumen. — In Aegypten giebt es einen Käfer, *Ateuchus sacer*, der seine Eier in den Mist legt und dann dieselben in aus Mist geformten Kugeln an Stellen bewegt, wo ihm dieselben sicher aufbewahrt zu liegen scheinen. Das Thier transportirt diese Kugeln, die oft 3 Zoll im Durchmesser haben und es an Größe weit übertreffen, indem es sich mit seinen langen Hinterbeinen unter die Kugel schiebt, um dieselbe rückwärts fortzuwälzen. Dieses Thier stand bei den alten Aegyptern mit der Sonne in Verbindung und war ihnen heilig. Die Figur des heiligen Käfers zeichneten sie um die Sterngruppe, welche in dem dritten Monate des Wachsthums nach Sonnenuntergang am Morgenhimmel erschien. Er war ihnen ein

Symbol der beginnenden Rückkehr der Sonne. Man sieht deshalb diesen Käfer oft mit zwei Kugeln, einer größeren, der Sonne, in den Vorderfüßen, und einer kleineren, der Erde, in den Hinterfüßen dargestellt, welche Kugeln er einander zu nähern sucht. Der Umstand, daß der besagte Käfer die bezeichneten Kugeln rückwärts bewegt, machte ihn in den Augen der Aegypter tauglich, das Zurückgehen der Sonne zu bezeichnen, und vielleicht sind in dem Zeichen des Krebses ♋ zwei Füße des Käfers angedeutet, die unter zwei Kugeln gesteckt sind, um sie fortzuwälzen. — Die alten Griechen, welche die Bedeutung des Sternbildes nicht verstanden, machten aus dem Käfer einen Taschenkrebs, der bekanntlich rückwärts geht.

Mit der zurückkehrenden Sonne im vierten Monat des Wachsthums (der 1. Parmuthi = dem 15. Februar) kehrte allmählich auch die Kraft der Sonne wieder zurück, und unter ihren Strahlen schritten die meisten Feldfrüchte der Reife entgegen. Die bis dahin meist noch grüne Erde verwandelte diese Farbe allmählich in die gelbliche, in die Farbe des Löwenfelles; die versengenden Strahlen der zum Zenith strebenden Sonne drohten alles in eine Wüste zu verwandeln. Man gab deshalb den in diesem Monate nach Sonnenuntergang aufgehenden Sternen das Bild des Löwen, des Thieres der Wüste, und bezeichnete es mit dem Zeichen ♌, das vielleicht den gekrümmten Schweif des Thieres andeuten soll, mit welchem es auf der Sphäre gewöhnlich dargestellt wird.

Auf die Zeit des Wachsthums folgt die der Ernte, die der Aussaat schon nach 4 Monaten folgt (der 1. Pachom = dem 17. März). Dies war eine günstige Zeit; denn sie versorgte die Menschen mit der nöthigen Nahrung. Sie umgaben darum die in dem ersten Monat der Ernte der untergehenden Sonne gegenüber aufgehenden Sterne mit einer weiblichen Figur, die eine Aehre in der Hand hielt, einem Bilde der Ernährerin. Die Griechen gaben ihr noch eine Sichel in die Hand, um die Attribute des Ackerbaues zu vervollständigen, und setzten sie mit der Göttin Ceres in Verbindung. Später fügte man der Figur noch Flügel hinzu, wie man sie heute noch abzubilden pflegt. Den Beginn des ersten Monats der Ernte bezeichnete der abendliche Aufgang des schönen Sternes Spica, d. h. Aehre. — Das Zeichen der Jungfrau ♍ scheint aus *n* und *p* des griechischen Wortes Nymphe zusammengesetzt zu sein.

Im zweiten Monat der Ernte (der 1. Payni = dem 16. April) wurde diese fortgesetzt und die Frucht zu Markte gebracht. Die Sonne war zum Aequator zurückgekehrt, und Tag und Nacht waren wieder einander gleich. Vielleicht wollte man diesen Zustand andeuten, indem man den am Abend der Sonne gegenüber aufgehenden Sternen das Bild der Wage gab, des Symbols des Gleichgewichts. Das Zeichen ♎ scheint eine Setzwage anzudeuten.

Während des dritten Monats der Ernte (der 1. Epiphi = dem 16. Mai) näherte sich die Sonne immer mehr dem Zenithe, und mit ihrem Steigen mehrte sich die Hitze. Um diese Zeit stellte sich der für giftig gehaltene Südwind ein (eigentlich Südwest oder Südsüdwestwind), der in Aegypten Chamsin heißt, von Kamsien = 50. Er soll 50 Tage wehen, doch selten länger als

3 Tage nach einander. Die bis dahin durchsichtige Luft trübt sich in eigenthümlicher Weise, daß die Sonne wie eine fast violette Scheibe erscheint. Die Menschen empfinden ein eigenthümliches Prickeln in der Haut und bei ausgestreckten Armen in den Fingerspitzen ein Gefühl, wie wenn elektrische Funken aus denselben hervorgingen. Es war deshalb nicht unnatürlich, daß man die der Sonne gegenüber aufgehenden Sterne mit einem dem Typhon, dem Urheber alles Bösen, geweihten Thiere in Verbindung brachte, nämlich mit dem in Aegypten häufigen Skorpion. Das Zeichen ♏ ist unverständlich, wenngleich man in den letzten Strichen eine Andeutung des stacheligen Schwanzes des Skorpions erblicken kann.

Der letzte Monat des Jahres, der vierte der Ernte (der 1. Mesori = dem 15. Juni), ist der Monat der Nordwinde. Denn wenn bei senkrechtem Sonnenstande die sehr verdünnte Luft lebhaft in die Höhe steigt, sucht der von Norden her wehende kühlere Wind, mit Wasserdampf vom Mittelmeere erfüllt, das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen. Man sieht alsdann, wenn diese Etesien wehen, Wolken in raschem Fluge über das Land hineilen, dem Süden zu, um sich hier niederzuschlagen und den Nil wieder schwellen zu machen, und das Ansteigen des Flusses beginnt manchmal schon in diesem Monate. Dieses Dahineilen der Wolken wollten die alten Aegypter vielleicht andeuten, wenn sie die der Sonne gegenüber aufgehenden Sterne mit dem Bilde eines Reiters in Verbindung brachten, dessen Gewand im Winde flattert, und der einen Pfeil abschießt, d. i. mit dem eines Schützen. Die Griechen machten daraus einen Centauren, der einen Pfeil abschießt. Das Zeichen ♐ stellt den Pfeil des Schützen dar.

Diese kurz mitgetheilte Erklärungsweise der Sternbilder des Thierkreises hat wenig Gezwungenes und stimmt mit dem Leben und den Erscheinungen in Aegypten, wie sie durch den Nil geregelt werden, gut zusammen. Auch noch viele andere Sternbilder ließen sich aus den Verhältnissen des genannten Landes erklären; doch müssen wir uns auf das Mitgetheilte beschränken, fügen indeß noch einige allgemeine Bemerkungen hinzu.

Von den Aegyptern oder Chaldäern scheinen die Sternbilder im 5. oder 6. Jahrhundert v. Chr. zu den Griechen gekommen zu sein, und diese nahmen die ihnen überlieferten Sternbilder theils einfach an, theils änderten sie dieselben, falls sie ihnen unverständlich waren, und fügten auch wohl selbständig ganz neue hinzu. Der Himmel mit seinen Bildern gab ihrer Phantasie reichliche Nahrung, und da man im Alterthume stets geneigt war, die Gestirne mit den dunklen Schicksalen der Menschen in Verbindung zu setzen, so gaben sie Veranlassung zu den verschiedensten Mythen, und ganze Gruppen von Sternbildern erhielten in solchen Mythen eine symbolische Bedeutung. Besonders sind es zwei Mythen, in welche viele Sternbilder verwebt sind, nämlich der Zug des Dionysos oder Bakchos und die Arbeiten des Herkules, und in diesen ist nach den Erklärungen *Dupuis'* der geistige Gehalt des Mythos als der Faden, auf welchen sich die Sternbilder aufreihen, noch erkennbar, was in

vielen andern nicht der Fall ist. Nähere Mittheilungen über die mythologische Bedeutung der Sternbilder findet man an dem angeführten Orte; wir beschränken uns hier mit der Aufzählung der einzelnen Sternbilder.

5. **Sternbilder der Alten.** Die Alten zählten nur 48 Sternbilder, und zwar außer den 12 schon bekannten Sternbildern des Thierkreises noch 36 andere, 21 am nördlichen und 15 am südlichen Himmel.

Die 21 nördlichen Sternbilder sind:

1) der kleine Bär
2) der nördliche Drache
3) Cepheus
4) der große Bär
5) Herkules
6) der Geier mit der Leier
7) der Schwan
8) der Pfeil
9) Cassiopeja
10) Andromeda
11) Perseus mit dem Medusenhaupte
12) der Fuhrmann mit der Ziege
13) das nördliche Dreieck
14) Bootes
15) die nördliche Krone
16) der Schlangenträger (Ophiuchus)
17) d. Schlange d. Ophiuchus
18) der Delphin
19) das kleine Pferd
20) Pegasus
21) der Adler.

Die 15 südlichen Sternbilder sind:

1) der Walfisch
2) der große Hund
3) der kleine Hund
4) die große Wasserschlange
5) der Becher
6) der Rabe
7) der Wolf
8) der Centaur
9) das Schiff Argo
10) die südliche Krone
11) der südliche Fisch
12) der Hase
13) der Altar
14) der Fluß Eridanus
15) der Orion.

6. **Neuere Sternbilder.** Diesen 48 Sternbildern sind im Laufe der Zeit noch 56 neue Sternbilder hinzugefügt worden, von denen indessen einige nicht allgemeine Annahme gefunden haben; der Vollständigkeit wegen zählen wir sie jedoch mit auf.

Die neueren Sternbilder sind:

1) Antinous
2) das Haupthaar der Berenice
3) die Karlseiche
4) die Taube
5) das Kreuz
6) Sobiesky's Schild
7) das Einhorn
8) die Giraffe oder das Camelopard
9) der Sextant
10) die Jagdhunde
11) der kleine Löwe
12) der Luchs
13) der Fuchs mit der Gans
14) die Eidechse
15) das kleine Dreieck
16) die Fliege
17) Cerberus mit dem Zweig
18) die amerikanische Gans
19) der Phönix
20) die kl. Wasserschlange
21) der Schwertfisch, Dorado
22) der fliegende Fisch
23) das Chamäleon
24) der Paradiesvogel
25) das südliche Dreieck
26) der Pfau
27) der Indianer
28) der Kranich
29) der Berg Mänalus
30) das Herz Karls II.
31) das Renthier
32) der Einsiedler (Vogel)
33) der Poniatowski'sche Stier
34) der Erntehüter
35) der Mauerquadrant
36) das brandenburgische Scepter
37) Friedrichsehre
38) die Georgsharfe
39) Herschels Telescop
40) der Luftballon
41) die Buchbinderwerkstatt
42) die Elektrisirmaschine
43) das Log mit der Leine
44) die Bildhauerwerkstatt
45) der chemische Ofen
46) die Pendeluhr
47) das rhomboidische Netz
48) der Grabstichel
49) die Malerstaffelei
50) der Seecompaß
51) die Luftpumpe
52) der Seeoctant
53) der Zirkel
54) das Lineal
55) das Mikroscop
56) die Setzwage.

7. **Vorschläge zur Aenderung der Sternbilder.** Zu neuen Sternbildern bot besonders der südliche Himmel noch passenden Raum, weil derselbe erst nach der Umschiffung Afrikas mehr bekannt wurde. Es sind indes die meisten der neuen Sternbilder ganz anderen Gebieten als die alten entnommen worden; durch sie sollen manche der Menschheit nützliche Erfindungen und Instrumente verewigt werden. Viele von diesen Sternbildern verdanken aber so gleichgiltigen und zufälligen Veranlassungen ihre Entstehung, daß sie von vielen gar nicht anerkannt werden, und wo soll auch, wenn Laune die Bedeckung des Himmels mit Bildern bestimmt, zuletzt eine Grenze gefunden werden? Um in das bunte Durcheinander der Bilder mehr Einheit zu bringen, hat es nicht an eigenthümlichen Vorschlägen gefehlt. So schlug *Weigel* im 16. Jahrhundert vor, aus den wichtigsten Sterngruppen die Wappen der europäischen Fürsten zu bilden, so daß sich, wäre der Vorschlag durchgegangen, der ganze Himmel in ein großes Buch der Heraldik verwandelt haben würde. *Schickard* und *Schiller* zu Augsburg setzten viele Heilige der katholischen Kirche an den Himmel, und in einem 1627 von *Schiller* herausgegebenen Werke füllen die zwölf Apostel den Thierkreis aus. Diese und ähnliche Bestrebungen blieben aber ohne Erfolg, und die Himmelsgloben und Sternkarten zeigen uns die Sternbilder so, wie sie im Laufe der Jahrhunderte entstanden sind, und das mit einem gewissen Rechte; denn astrologische und astronomische Schriften reichen bis weit vor Christi Geburt hinauf, und in ihnen sind die Sternbilder, wie sie entstanden sind, bezeichnet worden. Es würde das Studium solcher Schriften erschweren, wenn man statt jener lang gebrauchten ganz neue Bilder einführen wollte. Außerdem erscheint es auch dem hohen Alter der Astronomie und ihrer Ehrwürdigkeit angemessen, wenn sie jene Zeugnisse einer kindlichen Anschauungsweise zu bewahren bemüht ist. Von einer solchen kindlichen Anschauungsweise zeugen nun freilich die neueren Sternbilder des südlichen Himmels nicht; aber sie legen doch wenigstens Zeugnis ab von dem lebhaften Interesse, welches zur Zeit ihrer Entstehung die der Menschheit wichtigen Erfindungen bei den Zeitgenossen erregten.

8. **Bayers Vorschlag behufs der Bezeichnung der einzelnen Sterne.** Wenn die Gruppirung aller Sterne zu Sternbildern ein Orientiren an dem Himmel wesentlich erleichtert, so erscheint doch das von *Bayer* im Anfange des 17. Jahrhunderts eingeführte Verfahren, die einzelnen Sterne dieser Bilder mit den Buchstaben des griechischen Alphabets, wenn diese verbraucht sind, mit denen des lateinischen, und bei Erschöpfung dieser mit Ziffern zu bezeichnen, als ein angemessenes, und es ist gegenwärtig ganz allgemein im Gebrauch. Es würde sehr umständlich sein, wenn man von jedem Sterne, den man bezeichnen möchte, erst die Position nach Rectascension und Deklination angeben müßte, um zu wissen, von welchem Sterne die Rede ist. Durch die bezeichnete Methode *Bayers* ist eine Verständigung über einzelne Sterne leicht möglich. Wenn von *Bayer* im allgemeinen auch der Hauptstern eines Sternbildes mit α bezeichnet worden ist, so ist doch bei fortgesetzter Bezeichnung das Größenverhältnis nicht

immer für die Reihung der Sterne maßgebend gewesen, sondern meist hat die Gruppirung der Sterne im Bilde die Reihenfolge bestimmt. Da das griechische Alphabet nicht allgemein bekannt sein dürfte, so ist dasselbe unten*) nach Zeichen und Namen der einzelnen Buchstaben verzeichnet worden.

9. **Eigennamen der Fixsterne.** Außer den Buchstaben- und Ziffernamen haben viele einzelne Fixsterne, und zwar vornehmlich die größeren, besondere Eigennamen erhalten. Diese stammen meist von den Arabern her und sind theils in ihrer ursprünglichen Gestalt unverändert geblieben, theils mehrfach verändert und verunstaltet worden. Wir werden bei der unten folgenden Aufzählung der wichtigsten Eigennamen nach *v. Kloeden* die ursprünglichen arabischen Namen und ihre Bedeutung mit angeben. Die Araber haben sich um die Astronomie ein großes Verdienst erworben; denn ihnen verdankt die Wissenschaft die Erhaltung der griechischen und römischen Bildung. Sie retteten durch fleißiges Sammeln viel des Vorhandenen von dem Untergange und haben sich dadurch den Dank der Nachwelt erworben. Der herrliche Anblick, den die Sterne an Arabiens meist wolkenlosem Himmel gewähren, zog die Aufmerksamkeit des phantasiereichen, poetischen Volkes auf sich und machte es zu Freunden der Astronomie und Astrologie.

Die wichtigsten besonders benannten Fixsterne des Thierkreises sind:

Mesarthim (abgeleitet von dem hebräischen *Meschartim*, der Diener)	= γ	Widder
Aldebarān (*el-debarahn*, der Folgende, den Plejaden)	= α	Stier
Alkyone (die Gluckhenne)	= η	Plejaden
Castor } griechische Helden	= α	Zwillinge
Pollux } griechische Helden	= β	"
Praesepe (die Krippe)	= ε	Krebs
Regulus (der Königliche)	= α	gr. Löwe
Denebola (*Dseneb-el-ased*, der Schwanz des Löwen)	= β	"
Spica (die Aehre)	= α	Jungfrau
Vindemiatrix (*Provindemiator*, der der Weinlese Vorangehende)	= β	"

*) Das kleine griechische Alphabet:

α	alpha	= a	ν	ny	= n
β	beta	= b	ξ	xi	= x
γ	gamma	= g	o	omīkron	= ŏ
δ	delta	= d	π	pi	= p
ε	epsīlon	= ĕ	ϱ	rho	= r
ζ	zeta	= z (ds)	σ	sigma	= s
η	eta	= ē	τ	tau	= t
ϑ	theta	= th	υ	ypsīlon	= y
ι	iota	= i	φ	phi	= ph
$\varkappa$	kappa	= k	χ	chi	= ch
λ	lambda	= l	ψ	psi	= ps
μ	my	= m	ω	omĕga	= ō

Antares (griechisch: *Ant-Ares* = *Anti-Mars*, wegen seiner rothen Farbe dem Mars entgegengesetzt)	= α	Skorpion.

In den nördlichen Sternbildern:

Ruccubah (*Rukhba*, das Knie oder der Ellenbogen)	= α	kl. Bär (Polarstern)
Dubhe (*El-Dub*, der Bär)	= α	gr. Bär
Alioth (*Aljat*, der Fettschwanz)	= β	„
Mizar (der Gürtel oder Schurz)	= ζ	„
Ras-Algheti (*Ras-el-dschethi*, Kopf des Knieenden)	= α	Herkules
Wega (aus *El-nesr-el*-waki, der fallende Adler)	= α	Leier
Deneb (*Dseneb*, der Schwanz)	= χ	Schwan
Schedir (von *Sadr*, die Brust)	= α	Cassiopeja
Mirach (*Merak*, die Lende)	= β	Andromeda
Alamak (*El-Anak*, die Ziege)	= γ	„
Algenib (*Al-dschenib*, die Seite)	= α	Perseus
Algol (*Ras-el-gul*, das Teufelshaupt)	= β	„
Capella (die Ziege)	= α	Fuhrmann
Arkturus (griechisch: der Bärenschwanz*)	= α	Bootes
Gemma (der Edelstein)	= α	nördl. Krone
Ras-Alhague (*Ras-el-hhauwa*, Kopf des Schlangenträgers)	= α	Ophiuchus
Ataïr (*El-nesr-el-tair*, der fliegende Adler)	= α	Adler
Markab (*Markheb*, der Sattel)	= α	Pegasus
Scheat (von *Said*, der Oberarm)	= β	„
Algenib (*El-dschenab*, der Flügel)	= γ	„

In den südlichen Sternbildern:

Menkar (*Minchir*, die Nase)	= α	Walfisch
Mira (der Wunderbare)	= o	„
Beteigeuze (*Ibt-el-dschauza*, Achsel des Orion)	= α	Orion
Rigel (*Ridschl-el-dschebbar*, Fuß des Riesen)	= β	„
Bellatrix (die Kriegerin)	= γ	„
Sirius (der Funkelnde)	= α	gr. Hund
Prokyon (der Vorhund)	= α	kl. Hund
Canopus (entstanden aus *Kneph*, ägyptische Gottheit)	= α	Schiff Argo
Alphard (*El-ferd*, der Vereinzelte)	= α	Wasserschlange
Fomalhaut (*Fom-el-hhut*, Maul des Fisches)	= α	südl. Fisch.

*) Die alten Griechen verlängerten das Sternbild des großen Bären bis zu diesem hellen Stern.

VIII. Ueber die Mittel, die Sternbilder kennen zu lernen.

1. **Werth der Sternkenntnis.** Als eine mehr als wünschenswerthe Vervollständigung des astronomischen Wissens muß die Kenntnis der wichtigsten Sterne und Sternbilder des Himmels betrachtet werden, und gewiß wird von jedem, der mit Interesse dem bisher in diesem Buche Entwickelten gefolgt ist, Unkenntnis in dieser Beziehung als eine unangenehme Lücke in seinem Wissen empfunden werden. Freilich wohl fordert die gründliche Orientirung am gestirnten Himmel eine nicht geringe Mühe, eine lange, mehrjährige, ja fast beständige Aufmerksamkeit auf die gegenseitige Stellung der Sterne, auf ihren in den verschiedenen Stunden der Nacht und in den verschiedenen Jahreszeiten veränderten Stand etc.; allein keine Beschäftigung lohnt mehr der aufgewandten Mühe, keine wird mehr zu einer Quelle rein geistigen Genusses, als die aufmerksame Betrachtung des gestirnten Himmels. Hat man diese Betrachtung nur erst mit Ernst begonnen, so steigert sich stetig das Interesse dafür, und immer lieber erhebt man bei einem einsamen Gange in einer schönen, sternhellen Nacht den Blick gen Himmel.

Am leichtesten und schnellsten gelangt man zur Kenntnis der Fixsterne unter unmittelbarer Anleitung eines am Himmel Bewanderten; man wird so am sichersten vor Irrthümern bewahrt. Indessen bei regem Interesse für die Sache kann man sich auch allein, wenn man sich nur im Besitze einiger nothwendigen Hülfsmittel, als eines Himmelsglobus oder einiger Sternkarten befindet, die gewünschte Kenntnis des Himmels erwerben. Es pflegen uns ja auch die Kenntnisse die werthesten und bleibendsten zu sein, die wir uns durch eigene Mühe erworben haben.

2. **Der Himmelsglobus.** Wer sich zur Orientirung an dem gestirnten Himmel eines Himmelsglobus bedienen will und kann*), hat denselben zuerst in der S. 43 näher bezeichneten Weise zu orientiren, zuerst also den Meridian des Globus mit Hilfe des Compasses in die Richtung der Mittagslinie zu bringen, den Meridian der Polhöhe des Beobachtungsortes gemäß einzustellen, dann den Punkt in der Ekliptik zu suchen, in dem sich an dem betreffenden Tage die Sonne befindet, und nun, nachdem man den Zeiger des Stundenringes in angegebener Weise gestellt hat, der Kugel durch entsprechende Drehung die für die Stunde der Beobachtung geforderte Stellung zu geben. Es erscheinen dann die auf dem Globus verzeichneten Sterne in relativ gleicher Lage mit denen des wirklichen Himmels, und man hat sich nur in den Mittelpunkt des Globus versetzt zu denken, von hier aus durch die verzeichneten Sterne in Gedanken bis zum Himmel verlängerte Radien zu ziehen, um die entsprechenden Sterne wirklich am Himmel aufzufinden. Man erleichtert sich die Auffindung der

*) Empfehlenswerth sind die im Verlage von *Dietrich Reimer* in Berlin erschienenen Himmelsgloben von *Adami*. Durchmesser 8 Zoll rheinl. Preis 8 Thlr. 15 Sgr.

Sterne, wenn man den Globus von sich aus stets nach der Gegend des Himmels stellt, in welcher man den Sternenhimmel kennen zu lernen sucht. Jene Auffindung der Sterne und Sternbilder wird aber auch durch das gegenwärtig fast allgemein in Anwendung gebrachte Verfahren, die wichtigsten Sterne eines Sternbildes durch gerade Linien mit einander zu verbinden, außerordentlich erleichtert.

3. **Methode des Alignements.** Diese Methode des Alignements war bereits bei den alten Chinesen in Gebrauch. Wählt man sich nur ein bekanntes Sternbild, z. B. den großen Bären am nördlichen Himmel, so kann man, indem man sich die einzelnen Sterne dieses Sternbildes durch gerade Linien verbunden und diese entsprechend verlängert denkt, allmählich alle Sternbilder des Himmels aufsuchen. Auch auf Himmelsgloben wird die Methode des Alignements neben der Darstellung der wirklichen Sternbilder gegenwärtig in Anwendung gebracht; auf Sternkarten ist sie sehr gewöhnlich. Auch diesem Buche sind drei Sternkarten, nämlich die Darstellung der beiden Hemisphären, Taf. III und IV, und die der Aequator- und Ekliptik-Region, Taf. V, beigegeben worden, auf welchen Karten ebenfalls das Alignement angewandt worden ist. Gehen wir etwas näher auf diese Karten ein!

4. **Sternkarten.** Auf den beiden ersten Sternkarten, Taf. III und IV, welche die nördliche und die südliche Hemisphäre darstellen, steht der entsprechende Pol in dem Mittelpunkte des die Halbkugel darstellenden Kreises, welcher letztere den Aequator vorstellen soll. Dieser ist in 360° getheilt worden, und diese sind Grade durch die nebenstehenden Ziffern von 15° zu 15° bezeichnet worden. Die zu diesen Stellen von den Polen ausgehenden geraden Linien sollen Halbkreise, und zwar Deklinations- oder Stundenkreise bedeuten, durch deren Hilfe man bekanntlich die Rectascension der Sterne bestimmt.

Zieht man sich von dem Mittelpunkte der Karte aus durch irgend einen Stern eine gerade Linie zum Rande, so erhält man sogleich die Rectascension dieses Sternes. Um auch die Deklination der Sterne bestimmen zu können, ist der Aequinoctien-Colur vom Pole aus in 2mal 90 gleiche Theile getheilt worden. Mißt man nun die zu einem Sterne vom Mittelpunkte der Karte aus gezogene Linie an diesem getheilten Coluren, so erhält man leicht die Deklination des betreffenden Sternes. Der durch $52\frac{1}{2}°$ Poldistanz gezogene Kreis bezeichnet auf beiden Hemisphären die Circumpolarsterne Berlins, auf der nördlichen die nicht unter-, auf der südlichen die nicht aufgehenden Sterne.

Daß Rectascension gewöhnlich in Zeit angegeben wird, darf als bekannt vorausgesetzt werden. Es entsprechen dabei je 15° einer Stunde Sternzeit, weshalb ein solcher Winkel ein Stundenwinkel heißt; 360° sind also = einem Sterntage, = 24 Stdn., und es sind diese Stunden am äußersten Rande an den entsprechenden Stellen angegeben worden. Alle Sterne, die auf demselben Stundenkreise liegen, gehen zu gleicher Zeit durch den Meridian. Den Anfang des Sterntages rechnen die Astronomen nach dem Moment, in welchem der Frühlingspunkt durch den Meridian geht. Dieser Punkt, von welchem

bekanntlich die Rectascensionen gezählt werden, liegt auf der Karte unten, wo 360 und ♈ steht; ihm gegenüber liegt der Herbstpunkt in 180° Rectascension, mit ♎ bezeichnet. Der beide Punkte verbindende Bogen soll die nördliche resp. südliche Hälfte der Ekliptik bedeuten, in der die bekannten zwölf Zeichen in üblicher Weise angegeben worden sind.

Will man vermittelst der bezeichneten Sternkarten, namentlich der Hemisphären, die Sterne und Sternbilder aufsuchen, so würde man sich die Sache nicht unwesentlich erleichtern, wenn man sich dieselben etwa auf eine Pappscheibe klebte und diese im Mittelpunkte auf der Rückseite mit einem Stiele versähe, mit dessen Hilfe man die Pappscheibe um sich selbst drehen könnte, weil man alsdann durch eine geeignete Drehung die auf der Karte verzeichneten Sterne in bessere Uebereinstimmung mit den am Himmel befindlichen bringen kann. Wollte man sich z. B. am nördlichen Himmel orientiren, so suche man sich mit Hilfe des großen Bären, den ja fast jeder kennt, in bekannter, S. 8 schon bezeichneter Weise den Polarstern und dadurch den Nordpol des Himmels auf. Alsdann nehme man die entsprechende Karte vor sich und suche sie, in die Höhe gehoben, dadurch zu orientiren, daß man die Scheibe so weit um sich selbst dreht, bis der große Bär der Karte in derselben Richtung vom Pole dieser liegt, als in welcher man ihn am Himmel vom Himmelspole erblickt. Thut man dies zu verschiedenen Stunden desselben Tages oder zu verschiedenen Jahreszeiten, so wird man sich leicht von der veränderten Lage des Sternenhimmels überzeugen. Wie wir aus dem Früheren wissen, verschiebt sich der Stand des Himmels in je 4 Minuten um 1°, und ungefähr ebenso groß ist die Aenderung desselben an jedem folgenden Tage für eine bestimmte Stunde wegen der veränderten Stellung der Sonne in der Ekliptik.

5. **Anwendung auf den Himmel.** Wollte man nun, nachdem man die Karte orientirt hat, die einzelnen Sterne und Sternbilder finden, so könnte man am besten von dem bekannten großen Bären ausgehen und durch Anwendung des Alignements seinen Zweck erreichen. Verbindet man in Gedanken die Sterne β und α des genannten Sternbildes durch eine gerade Linie, und verlängert man diese bis zu dem ersten hellen Sterne 2. Größe, so trifft man den Polarstern und damit das Sternbild des kleinen Bären, das in der Gruppirung seiner wichtigsten Sterne dem großen Bären sehr ähnlich ist. Den zweiten Hauptstern β des kleinen Bären findet man leicht, wenn man ihn als die Spitze eines gleichschenkligen Dreiecks betrachtet, dessen Basis die Sterne α und δ des großen Bären bezeichnen. Halbirt man diese Basis, so trifft eine in der Mitte derselben errichtete Senkrechte den gesuchten röthlichen Stern β.

Verlängert man die von δ nach γ des großen Bären gezogene Linie, so trifft man zuerst das durch keine hellen Sterne ausgezeichnete Sternbild des kleinen, sodann aber bei weiterer Verlängerung vier leicht kenntliche Sterne ζ, γ, η und α oder Regulus des großen Löwen, dessen andere Sterne man dann leicht findet. Die Sterne beider Sternbilder gehören nicht zu den Circumpolarsternen. Verlängert man die obige Linie in umgekehrter Richtung, also

von γ nach δ, so trifft man ziemlich genau auf die helle Wega oder α der Leier; zugleich geht die Linie durch den Kopf des Drachen.

Eine Linie von δ des großen Löwen durch den Polarstern trifft fast in derselben Entfernung, wie jenes von diesem, den Hauptstern α in dem Kopfe der Cassiopeja. Die übrigen Sterne dieses Sternbildes sind leicht an der Figur eines etwas verschobenen römischen *W* kenntlich, das sie bilden, und pflegen, einmal gesehen, leicht wiedergefunden zu werden. — Verbindet man γ und α der Cassiopeja mit einander, so trifft die Verlängerung α der Andromeda, einen Stern, der dadurch auffällig ist, daß er das leichtkenntliche Quadrat im Pegasus mit den Stern α, β, γ dieses letzteren bilden hilft.

Die Verlängerung einer Linie von β und α der Cassiopeja trifft einen zweiten Hauptstern, nämlich γ oder Alamak der Andromeda. Kennt man aber α und γ dieses Sternbildes, so findet man auch leicht den etwa in der Mitte zwischen beiden Sternen stehenden Stern β oder Mirach; er steht nur wenig seitlich der α und γ verbindenden Linie. — Eine Linie von β nach γ der Andromeda führt durch α des Perseus ziemlich nahe zur hellglänzenden Capella im Sternbilde des Fuhrmanns u. s. w.

Es dürfte an diesen Andeutungen genug sein; sie werden wenigstens gezeigt haben, wie man beim Auffinden der Sterne etwa zu verfahren hat. Hat man nur erst einige sich recht genau gemerkt, so mehren sich die Mittel andere zu finden außerordentlich. Da wir in der oben angedeuteten Weise doch nicht alle Sternbilder des Himmels durchgehen können, so wollen wir nun dem geneigten Leser die weitere Durchmusterung des Sternenhimmels getrost allein überlassen. Liebe zur Sache führt gewiß zum Ziel.

6. **Die Sternbilder des Thierkreises.** Ein besonderes Interesse aber gewähren die Sternbilder des Thierkreises, durch welche innerhalb eines Jahres die Sonne ihren Weg nimmt. Dieselben sind auf Taf. V zu finden, welche die Zone des Himmels 50° nördlich und 50° südlich vom Aequator darstellt. Diese Zone ist als der abgewickelte Mantel eines Cylinders gezeichnet worden, was hier geschehen kann, ohne die Sterngruppen zu sehr verzerrt erscheinen zu lassen, da die Zone im N. und im S. gleiche Weite hat. Am linken und rechten Rande der Karte sind zu beiden Seiten des Aequators die Deklinationen von 10° zu 10° angegeben, die Parallelkreise aber nicht gezogen worden, um die Karte nicht undeutlich zu machen. Die Rectascensionen sowie die entsprechende Sternzeit sind am obern und am untern Rande bezeichnet, aber die einzelnen Stundenkreise ebenfalls nicht, sondern nur die Coluren gezogen worden. Außerdem sind die beiden Hälften der Ekliptik in üblicher Weise dargestellt. Der Anfangspunkt der Ekliptik, der Frühlingspunkt ♈, liegt am rechten Rande. Um sich mit den einzelnen Sternbildern des Thierkreises bekannt zu machen, ist es am gerathensten, mit einem leicht aufzufindenden den Anfang zu machen, und als ein solches dürfte sich das Sternbild des Stiers empfehlen. Dies gehört bekanntlich zu den nördlichen Sternbildern, und diese sind am besten im Winterhalbjahre, wenn die Sonne die südlichen

durchwandert, die südlichen aber im Sommerhalbjahr aufzusuchen. Der Stier ist leicht in den Abendstunden des October am Morgenhimmel zu finden. Das in ihm stehende Siebengestirn oder die Plejadengruppe, deren hellster Stern die Alkyone ist (nach *Mädler* die Centralsonne unseres Sternsystems), lenkt leicht die Aufmerksamkeit auf sich. Wir finden sie ziemlich weit rechts auf unserer Karte in ungefähr 23^0 nördlicher Deklination. Südöstlich von ihr erkennt man leicht Aldebaran, einen schönen röthlichen Stern 1. Größe; er steht in der Stirn des Stiers, deren Sterne etwa ein schiefliegendes V bilden und daran leicht kenntlich sind. In diesem V, rechts unten von Aldebaran, stehen die schönen Hyaden, eine im Fernrohr herrliche Gruppe. Eine von der Spitze durch die Mitte des bezeichneten V gezogene gerade Linie trifft einen Stern 2. Größe, β im linken Horne des Stiers, nahe der Milchstraße; rechts unten von ihm steht ein Stern 3. Größe, ζ im rechten Horne des Stiers, ebenfalls nahe der Milchstraße. Beide Sterne stehen südlich vom schönen Sternbilde des Fuhrmanns mit der glänzenden Capella.

Zieht man von dem Sterne ζ am rechten Horne des Stiers eine gerade Linie durch die Plejaden, so findet man fast in derselben Entfernung, ein wenig südlich, westlich vom Stier, den Stern α des Widders, einen Stern 2. Größe, der mit den von ihm rechts unten stehenden kleineren Sternen β und γ einen stumpfen Winkel bildet. Diese drei Sterne im Kopfe des Widders sind am leichtesten zu finden. — Eine Linie von den Plejaden durch Aldebaran trifft den schönen Stern Beteigeuze, α des Orion. Dieses schönste Sternbild an unserem Himmel ist leicht an dem verschobenen Viereck kenntlich, welches vier seiner Hauptsterne bilden, und in welchem drei schöne Sterne 2. Größe der Jakobsstab heißen.

Verbindet man Aldebaran mit dem Sterne ζ des Stiers, so findet man in doppelter Entfernung dieser beiden Sterne den Stern Pollux, β der Zwillinge, und von diesem nicht fern Castor, α dieses Sternbildes, einen schönen Doppelstern. Die eben gezogene Linie geht auch noch an einigen anderen Sternen der Zwillinge vorüber, die man leicht mit Hilfe der Karte finden wird. Die Füße der Zwillinge, die Sterne γ und μ, liegen am Rande der Milchstraße.

Eine Castor und Pollux verbindende Linie geht, verlängert, etwas westlich von einer kleinen Sterngruppe vorüber, und diese bei Mondschein schwer zu erkennende Gruppe ist die Krippe im Sternbilde des Krebses, zu deren beiden Seiten die beiden Esel, die Sterne γ und δ stehen. Eine Verbindungslinie von den Plejaden durch ζ im linken Horne des Stiers trifft in 3½fachem Abstande dieser Sterne den gerade in der Ekliptik stehenden Stern Regulus, α im Sternbilde des großen Löwen. Zu diesem Sterne führt auch eine Linie durch α und β des Fuhrmanns, sowie durch α und γ (Beteigeuze und Bellatrix) des Orion; die letztere Linie geht nur wenig nördlich von Prokyon, α des kleinen Hundes, vorüber, der mit Castor und Regulus fast ein gleichseitiges Dreieck bildet. Hat man den Hauptstern Regulus, so findet man mit

Hilfe der Karte leicht die meist östlicher stehenden Hauptsterne der schönen Constellation des großen Löwen, dessen drei östlichste Sterne β (Denebola) δ, ϑ ein fast rechtwinkliges Dreieck bilden. Daß man zum großen Löwen auch vom großen Bären aus gelangt, ist bereits gesagt worden; eine Linie durch δ und γ des letzteren Bildes führt ziemlich genau zu ζ, γ, η, α des ersteren.

Die bis jetzt betrachteten Sternbilder des Thierkreises erreichen bei ihrer Culmination eine ziemlich bedeutende Höhe über dem Horizonte und sind am besten vor Weihnachten aufzufinden. Die nun folgenden, mit Ausnahme der Fische, liegen im südlichen Theil der Ekliptik, und sind daher ziemlich tief im Süden zu suchen.

Zu dem großen Sternbilde der Jungfrau leitet eine Linie, welche die Sterne δ und β des großen Löwen verbindet, und es trifft diese der Ekliptik fast parallele Linie die Sterne δ und ζ der Jungfrau. Südlich von diesem letzteren Sterne steht die schöne Spica, der Hauptstern α des Sternbildes, der mit den beiden vorigen fast ein gleichschenkliges Dreieck bildet. Spica ist auch dadurch leicht aufzufinden, daß sie mit Denebola und dem glänzenden Arkturus, α im Bärenhüter, ein fast regelmäßiges Dreieck bildet.

Durch die Sterne δ und ζ der Jungfrau gelangt man in fast 3fachem Abstande dieser beiden Sterne zu einem Sterne 2. Größe; es ist β der Wage in der nördlichen Schale derselben. Den zweiten, ebenso großen Hauptstern der Wage, α, findet man leicht rechts unten vom vorigen.

Verbindet man α und β der Wage und errichtet dann in der Mitte der Verbindungslinie eine Senkrechte, so trifft diese östlich ziemlich genau den Stern δ im Sternbilde des Skorpions, einen Stern 2. Größe, über dem etwas höher β, ebenfalls 2. Größe, steht, und östlich von beiden Sternen gelangt man zu dem röthlichen Antares, einem schönen Stern 1. Größe. Die drei genannten Sterne α, β, δ bilden fast ein bei δ rechtwinkliges Dreieck. Die ziemlich hellen Sterne des langen, gekrümmten Schwanzes ziehen sich ganz in die Milchstraße hinein, gehen aber in unsern Breiten nicht alle auf. In den Frühlingsmonaten, besonders im Mai und Juni, ist dieses schöne Sternbild eine Zierde des südlichen Himmels.

Ebenfalls in oder doch nahe, etwas östlich der Milchstraße stehen die wichtigsten Sterne des bei uns nicht ganz sichtbaren Schützen. Eine gerade Linie von δ nach α des Skorpions trifft ungefähr ε (2. Größe) im Bogen des Schützen. Dieser Stern bildet mit den Sternen 3. Größe δ und γ, letzterer in der Spitze des Pfeiles, ein rechtwinkliges Dreieck. Etwas nördlich von δ und ein wenig östlich von ihm steht λ am oberen Ende des Bogens, und von diesem ganz östlich σ, ein Stern 2. Größe, an der Schulter des Schützen. Die übrigen Sterne des Bildes sind fast sämtlich klein.

Zu den leichtest kenntlichen Sternen des Steinbocks gelangt man durch eine Linie von δ durch σ des Schützen; man trifft nämlich durch diese Linie einen Stern 3. Größe, β des Steinbocks, über welchem man leicht in

geringer Entfernung den fast gleich hellen α entdeckt. Alle übrigen Sterne sind nur klein.

Verbindet man α mit β des Steinbocks, so führt eine in α auf diese Linie errichtete Senkrechte östlich auf die Sterne 3. Größe β und α an den Schultern des Wassermannes, dessen übrige kleine Sterne man nach der Karte wohl finden kann.

Um endlich die Fische zu finden, thut man am besten, das schon erwähnte Quadrat im Pegasus zu suchen. Südlich von den Sternen α und γ desselben wird man 5 kleine Sterne 4. bis 5. Größe bemerken, die ein ziemlich regelmäßiges Fünfeck bilden, dem nahe rechts und links noch zwei ebenso kleine Sterne stehen. Diese Sterne bilden den südlicheren Fisch; der andere, im Bilde durch ein Band mit diesem verbunden, wird durch eine andere Gruppe kleiner Sterne gebildet, die sich rechts von den schon bezeichneten drei Sternen im Kopfe des Widders befinden und sich zu den schon bekannten Sternen α und β der Andromeda hinaufziehen.

Wer sich eingehender mit der Kenntnis der Gestirne beschäftigen will, dem werden die diesem Werke beigegebenen Sternkarten nicht ganz genügen; man findet ausführlichere Darstellungen des Sternenhimmels unter andern in *J. J. von Littrows* Atlas des gestirnten Himmels. Stuttgart 1854. Preis 1 Thlr.

Zur Auffindung der Sternbilder kann auch ein von *Adami* construirtes Astrognosticon empfohlen werden, im Verlage von *Dietrich Reimer* in Berlin. Preis 2 Thlr.

Als ein Werk über die Sternkunde, das des Belehrenden außerordentlich viel enthält, kann empfohlen werden: Der Sternenhimmel. Eine vollständige, populäre Sternenkunde mit besonderer Beziehung auf die große Sternwandkarte des Landes-Industrie-Comptoirs, von Dr. *K. F. v. Kloeden.* Weimar 1848.

Wem es aber um Angabe der genaueren Positionen der einzelnen Sterne zu thun ist, muß sich gute Sternkataloge verschaffen, Verzeichnisse von Fixsternen der verschiedensten Größe, geordnet nach Rectascensionen und Deklinationen oder, wie vor *Tycho's* Zeit, nach Länge und Breite. In dem letzten der oben angeführten Werke findet man auch hierüber speciellere Mittheilungen. Wir wollen hier nur des von der Berliner Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Sternkatalogs erwähnen, der als eine vorzügliche und verdienstvolle Arbeit bezeichnet werden muß.

Vierte Abtheilung.

Von den bewegenden Kräften und den Gesetzen der Bewegung.

Erster Abschnitt.

Von der Materie, ihren Eigenschaften und den auf sie und in ihr wirkenden Kräften.

Wir haben in dem Bisherigen die Welt der Erscheinungen kennen gelernt, die uns der Himmel in so großer Mannigfaltigkeit darbietet, und schon Gelegenheit gehabt, die Gesetze anzudeuten, nach denen jene Erscheinungen und Veränderungen vor sich gehen. Dem sinnenden Menschengeiste genügt dies aber noch nicht; er möchte gern die Triebfeder, die wahre Ursache jener Erscheinungen erforschen und außer dem Was und Wie auch das Warum kennen lernen, um so die Welt der Erscheinungen, als sich mit innerer Nothwendigkeit gestaltend, begreifen zu können. Er steht, wie der Jüngling zu Sais vor dem verschleierten Bilde, so vor dem Himmel und seinen Wundern, und möchte gern den Schleier lüften, der ihm den Blick in das innerste Getriebe jener wunderbaren Welt, in das Wesen der sie zusammenhaltenden und gestaltenden Kräfte verhüllt. Und manches ist in dieser Beziehung dem ernst forschenden Menschengeiste gelungen. Doch fällt auch eine Schranke der Erkenntnis nach der andern: »Ins Innere der Natur dringt kein erschaffner Geist.« Das innerste Wesen der Dinge ist nur dem großen Schöpfer offenbar, und was der Mensch von demselben weiß oder zu wissen glaubt, ist immer mehr oder weniger Aeußerliches, nicht das Wesen der Dinge selbst; sondern es sind nur sinnlich wahrnehmbare Wirkungen, Eigenschaften dieses Wesens. Versuchen wir in dem Folgenden uns vorzuführen, was dem Menschen von den in den Erd- und Himmelsräumen herrschenden und gestaltenden kosmischen Kräften zu erkennen bisher vergönnt und möglich gewesen ist.

Erstes Kapitel.

Von den wichtigsten Eigenschaften der Materie.

1. **Kraft.** Wir sehen an und in den uns umgebenden Naturkörpern mancherlei Veränderungen vorgehen; die innere Ursache dieser Veränderungen nennen wir Kraft. Diese Ursache selbst ist nicht körperlich, aber immer an die Materie gebunden, so daß Kraft und Materie stets zusammen auftreten. Was das innerste Wesen der Kräfte selbst ausmacht, ist uns zu erforschen unmöglich; wir kennen nur ihr eigenthümliches, gesetzmäßiges Wirken. Da wir es für unsern Zweck bei den Himmelskörpern nur mit unbelebter Materie, nicht mit organischen Wesen zu thun haben, so reden wir hier nur von den mechanischen Kräften, die auf, in und zwischen ihnen wirksam sind oder von uns wenigstens als wirksam hypothetisch angenommen werden. Als die allgemeinste Wirkung einer mechanischen Kraft ist die Bewegung zu bezeichnen, und aus der Größe und Art dieser Bewegung schließen wir auf die Größe und Art der Kraft: die durch eine Kraft bewirkte Bewegung ist das Maß für die Kraft.

2. **Anziehungskraft.** Wir haben es zum Zwecke der Erklärung der an den Weltkörpern wahrgenommenen Bewegungen hauptsächlich mit einer Kraft zu thun, nämlich mit der Anziehungskraft oder Attractionskraft. Sie ist eine allgemeine Eigenschaft der Materie. Jedes körperliche kleinste Massentheilchen oder Molekül hat die Fähigkeit anzuziehen und angezogen zu werden. Als Cohäsion (*cohaerere* = zusammenhangen) sehen wir sie zwischen den Molekülen jedes Körpers thätig und diesem seine eigenthümliche Festigkeit gebend. Sie verhindert als solche das Auseinanderfallen der Körper in ihre einzelnen Bestandtheile, und wir müssen sie überwinden, wenn wir einen Körper zertheilen wollen. Als Adhäsion (*adhaerere* = anhangen) fesselt sie mit größerer oder geringerer Macht sich von außen in vielen Punkten berührende Körper (Adhäsionsplatten, Capillarität). Als terrestrische Schwere oder Gravitation sehen wir sie von der ganzen Erde auf alle zu ihr gehörigen Körper geübt, und sie ist es, die alle diese Körper an sie fesselt und sich von ihr zu entfernen hindert. Sie äußert sich als ein Zug zum Mittelpunkte der Erde und wird dieser ihrer Richtung wegen auch wohl die Centripetalkraft, d. i. die zum Mittelpunkt strebende Kraft genannt. Als ihre Wirkung erscheint auf der Erde zunächst der Fall der Körper zum Erdmittelpunkte, und da, wie vielfache Versuche gezeigt haben, im luftleeren Raume alle Körper an einem und demselben Orte und in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte gleich schnell fallen, und auch, wie namentlich *Bessel* gezeigt hat, Pendel gleicher Länge aus den verschiedensten Stoffen, selbst aus der Erde fremden Körpern, z. B. aus Meteoreisen, an einem und demselben Orte gleich schnell schwingen, so sind alle Körper gleich schwer, d. h. haben das Streben zum Mittelpunkte in gleichem Grade.

Eine fernere Wirkung der Schwere, die man in dem bisherigen Sinne auch wohl die terrestrische nennt, ist das Gewicht der Körper, d. i. die Größe

des Druckes, den die Körper auf eine Unterlage ausüben. Jedes Molekül drückt in gleicher Entfernung vom Erdmittelpunkte gleich stark; je mehr Moleküle also drücken, desto größer ist der Druck oder das Gewicht. Da die Summe aller Moleküle eines Körpers seine Masse heißt, so ist das Gewicht stets der Masse proportional. Wir bestimmen deshalb die Masse eines Körpers durch sein Gewicht (Wage). Doppeltes Gewicht doppelte Masse, halbes Gewicht halbe Masse u. s. w.

Den Raum, welchen ein Körper einnimmt, nennt man bekanntlich sein Volumen. Kennt man die Masse und das Volumen eines Körpers, so erhält man eine Vorstellung von seiner Dichtigkeit. Körper von gleichem Volumen und gleicher Masse haben auch gleiche Dichtigkeit, und umgekehrt. Je größer die Masse bei gleichem Volumen, desto größer ist die Dichtigkeit: Bei gleichem Volumen verhalten sich also die Dichtigkeiten der Körper gerade wie die Massen. — Je größer das Volumen bei gleicher Masse, desto geringer ist die Dichtigkeit: Bei gleicher Masse und ungleichem Volumen verhalten sich die Dichtigkeiten umgekehrt wie die Volumina.

Haben zwei Körper ungleiche Masse und ungleiche Volumina, so setzt sich das Verhältnis der Dichtigkeiten aus dem geraden Verhältnis der Massen und dem umgekehrten der Volumina zusammen: Bei ungleicher Masse und ungleichem Volumen zweier Körper verhält sich die Dichtigkeit derselben wie ihre Masse dividirt durch ihr Volumen.

Obige drei leicht verständliche Sätze kann man mit Anwendung von Formeln allgemein und kürzer darstellen. Bezeichnet man die Massen zweier Körper durch M und m, ihre Volumina durch V und v, ihre Dichtigkeiten durch D und d, so verhält sich, wenn $V = v$: 1) $D : d = M : m$; wenn $M = m$: 2) $D : d = v : V$; wenn V und v, M und m ungleich sind: 3) $D : d = \frac{M}{V} : \frac{m}{v}$.

Kennt man das Verhältnis der Dichtigkeiten zweier Körper, so ist dadurch auch das der Gewichte eines gleichen Volumens der Massen gegeben; es ist offenbar gleich dem der Dichtigkeiten. Ist z. B. Platina 3 mal so dicht als Eisen, so muß auch ein Kubikzoll Platina 3 mal so viel Gewicht haben als 1 Kubikzoll Eisen etc. Gewöhnlich bestimmt man die Dichtigkeit eines Körpers im Verhältnis zu der des destillirten Wassers, und man nennt die Zahl, welche angiebt, wieviel mal so groß das Gewicht eines Körpers als das eines gleichen Volumens destillirten Wassers ist, das specifische Gewicht des Körpers. Die specifischen Gewichte zweier Körper verhalten sich nach dem Obigen stets wie die Dichtigkeit derselben. Bei Besprechung der einzelnen Planeten haben wir bereits vielfache Angaben über Massen und Dichtigkeiten derselben gemacht, und werden später die Möglichkeit der Bestimmung derselben einsehen.

3. **Trägheit oder Beharrungsvermögen.** Die Dinge der Welt befinden sich in verschiedenen Zuständen; während einige ruhen, bewegen sich andere etc. Alle Körper aber besitzen die Eigenschaft, in dem Zustande, in

welchem sie sich gerade befinden, zu verharren, bis irgend eine Kraft sie aus dem Zustande herausbringt. Man nennt diese Eigenschaft der Körper das Beharrungsvermögen oder auch die Trägheit, und wir haben derselben bereits zu wiederholtenmalen Erwähnung gethan. Sie ist auch wirksam bei den fernsten Weltkörpern und die Ursache, daß die Himmelskörper ihre Bewegungen fortsetzen. Sie wirkt hierbei ebenfalls als eine Kraft; doch ist uns unbekannt, wodurch die erste Bewegung bewirkt worden ist. Bei Körpern, die sich in krummlinigen Bahnen bewegen, wird sie gewöhnlich die Schwungkraft, und da sie die ihr unterworfenen Körper vom Centrum der Bewegung entfernt, auch die Centrifugalkraft genannt.

4. **Beweglichkeit.** Alle Dinge besitzen endlich die Fähigkeit, aus Ruhe in Bewegung versetzt zu werden: sie haben Beweglichkeit. Ein bewegter Körper durchläuft einen Raum, und man nennt diesen den Weg oder die Bahn des Körpers. Diese kann eine sehr verschiedene Gestalt haben, im allgemeinen aber gerad- oder krummlinig sein. — Zu jeder Bewegung ist Zeit erforderlich. — Je größer der Weg ist, den ein Körper in einer gewissen Zeit durchläuft, desto größer ist seine Geschwindigkeit. Als Maß der Geschwindigkeit giebt man gewöhnlich den Raum an, den ein Körper in einer Zeitsekunde zurücklegt. Werden in gleichen Zeiten gleiche Räume durchlaufen, so ist die Bewegung gleichmäßig, im entgegengesetzten Falle ungleichmäßig. So ist die Achsendrehung der Erde eine gleichmäßige Bewegung, ihre Bewegung um die Sonne aber eine ungleichmäßige, und zwar beschleunigt vom Aphel bis zum Perihel, verzögert vom Perihel bis zum Aphel. Eine Bewegung aber wird gleichmäßig beschleunigt oder verzögert genannt, wenn die Geschwindigkeit in gleichen auf einander folgenden Zeittheilen gleichviel zu- oder abnimmt. Nur beständig oder perpetuirlich thätige Kräfte können beschleunigend oder verzögernd wirken.

Zweites Kapitel.

Wirkung äußerer Kräfte auf die Körper.

Wenn ein Körper in Ruhe ist, so gehört eine gewisse Kraft dazu, ihn in Bewegung zu versetzen, da die Trägheit der Materie zu überwinden ist, und man sieht leicht ein, daß die Kraft um so größer sein muß, je mehr Masse ein zu bewegender Körper hat, und umgekehrt.

1. **Wirkung einer Kraft.** Wirkt eine einzige Kraft, etwa ein Stoß einmal auf einen Körper, so muß er sich bewegen, und zwar in der Richtung, in welcher der Stoß erfolgte. Der Weg muß alsdann eine gerade Linie und die Geschwindigkeit wegen des stetig wirkenden Beharrungsvermögens eine gleichmäßige sein.

Ist bei einer Bewegung die Bahn krummlinig oder die Geschwindigkeit ungleichmäßig (verzögert oder beschleunigt), so muß wenigstens noch eine

zweite Kraft thätig sein, welche die Wirkung der ersten abändert. Eine stetige Veränderung der Geschwindigkeit kann nur durch eine stetig wirkende Kraft hervorgebracht werden. Ist die Bewegung gleichmäßig beschleunigt oder verzögert, so kann dies nur durch eine fortwährend und gleich stark wirkende Kraft bewirkt werden.

Jede Ursache muß eine Wirkung haben; Ursache und Wirkung aber müssen einander stets entsprechen oder einander proportional sein. Die Wirkung einer Kraft äußert sich in Bewegung, und die Ursache einer Bewegung heißt eben Kraft. Nach dem Gesagten muß die Bewegung der Kraft entsprechen, und darum ist die Geschwindigkeit, d. i. der Raum, den ein Körper in einer Zeiteinheit durchläuft, ein Maß der Kraft. Man kann deshalb eine Kraft auch als eine Linie, und das Verhältnis zweier Kräfte durch die entsprechende Länge der Linien darstellen.

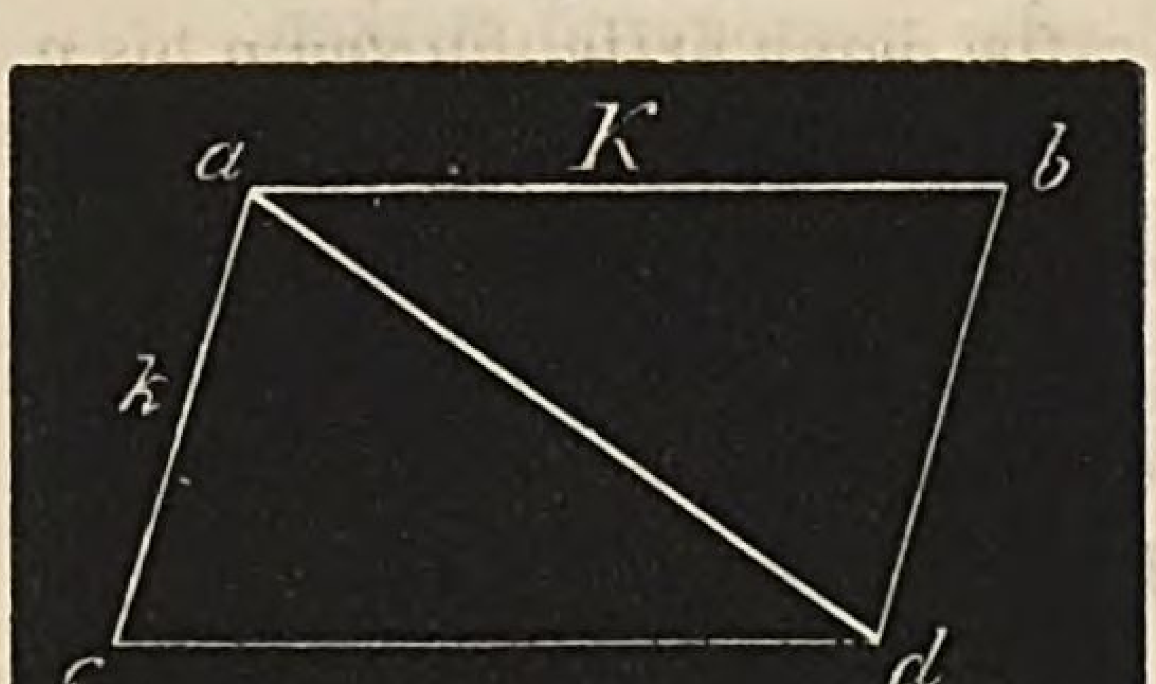
2. **Wirkung zweier Kräfte.** Wirken zwei Kräfte gleichzeitig auf einen Körper, so können folgende Fälle vorkommen:

a) Die Kräfte wirken nach derselben Richtung. In diesem Falle ist die Wirkung so, als ob eine Kraft, gleich der Summe der beiden Kräfte, auf den Körper gewirkt hätte. Sein Weg ist also auch gleich der Summe der beiden Kräfte (diese als Linien dargestellt gedacht).

b) Die Kräfte wirken direkt entgegengesetzt. Sind in diesem Falle die beiden Kräfte gleich groß, so muß nothwendig Stillstand erfolgen oder die Kräfte heben sich auf. Sind die Kräfte ungleich, so geht der Körper mit der Differenz beider Kräfte in der Richtung der größeren Kraft fort.

c) Die Kräfte wirken unter einem Winkel auf einander. Dieser für unsern Zweck besonders wichtige Fall bedarf einer näheren Betrachtung.

Fig. 128.



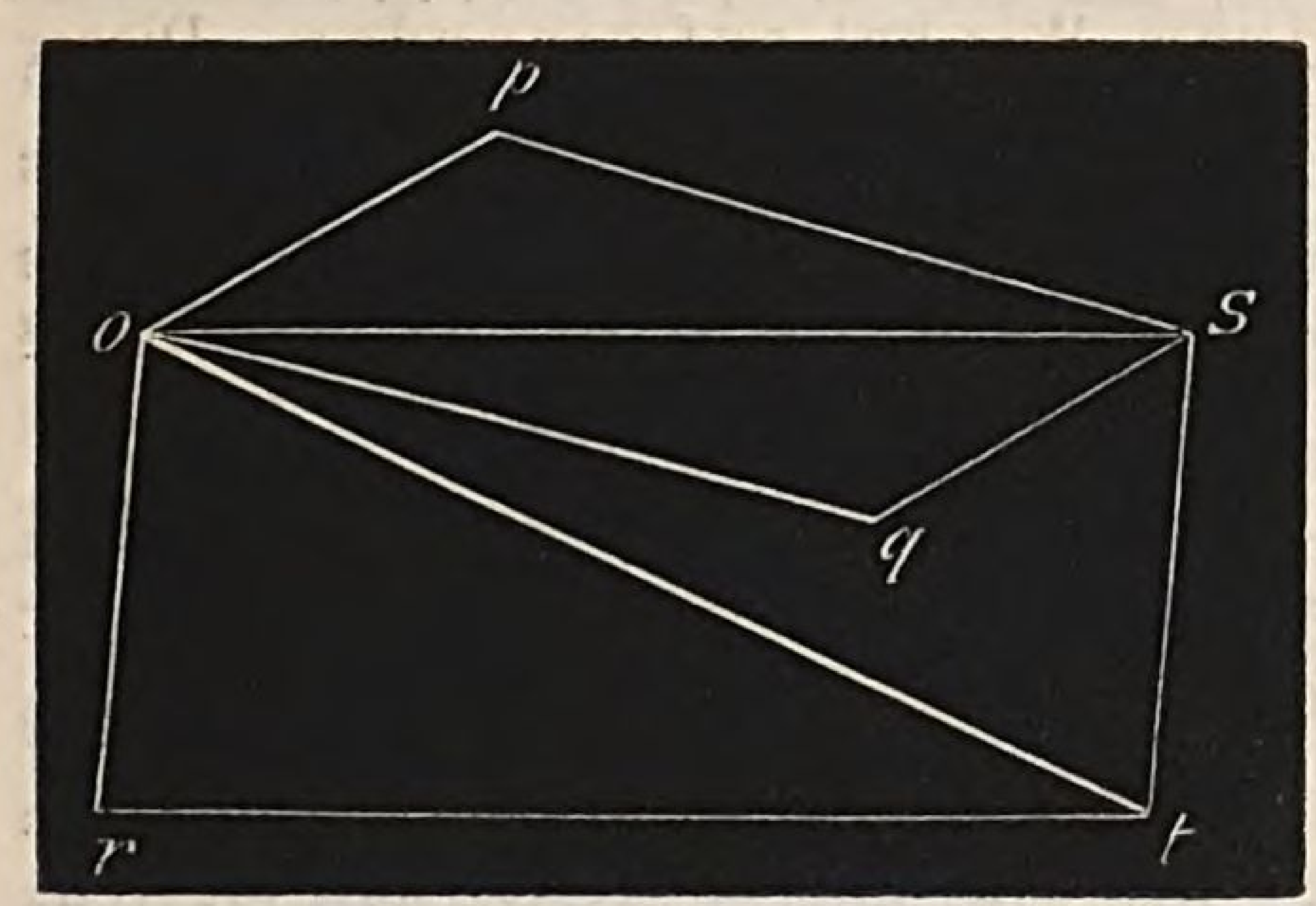
Angenommen, ein Körper in a, *Fig. 128*, würde durch die Kraft K in 1 Sek. von a nach b, durch eine zweite Kraft k in derselben Zeit von a nach c getrieben, so ist offenbar der Erfolg so, als ob beide Kräfte nach einander, und zwar je 1 Sek. gewirkt hätten. Die Kraft K würde den Körper in 1 Sek. nach b gebracht haben. Hörte nun die Wirkung der Kraft K auf und finge k an thätig zu sein, so würde der Körper am Ende der zweiten Sekunde in d sich befinden, da $bd = ac$. Bei gleichzeitiger Wirkung beider Kräfte muß er, um nach d zu gelangen, den Weg ad einschlagen, welche Linie zugleich Richtung und Größe der Wirkung beider Kräfte veranschaulichen kann. Diese Linie ist aber nichts als die Diagonale des Parallelogramms $abdc$, dessen Seitenlängen der Größe der Kräfte entsprechen. Man kann deshalb das Gesagte kurz so ausdrücken: Wirken zwei Kräfte gleichzeitig unter einem Winkel auf einen Körper, so stellt die Diagonale des aus den Kräften construirten Parallelogramms zugleich Richtung und Größe der resultirenden Bewegung dar.

Man pflegt dies Gesetz das Gesetz des Parallelogrammes der Kräfte zu nennen. Mit Hilfe dieses Gesetzes läßt sich also der Weg bestimmen, den ein Körper unter Einwirkung zweier gleichzeitig wirkenden Kräfte einschlagen muß. Wird z. B. auf ein Schiff durch den Strom des Wassers und den Wind gleichzeitig gewirkt, und zwar so, daß der Strom dasselbe in 1 Sek. durch 3 Fuß, der Wind hingegen durch 5 Fuß in verschiedenen Richtungen forttriebe, so hätte man sich zwei gerade Linien im Verhältnis von 3 : 5 unter einem Winkel an einander zu setzen, den die Richtung des Windes und des Stromes mit einander bilden, und dann aus diesem Winkel ein Parallelogramm zu construiren, indem man die entsprechenden Parallellinien zieht. Die Diagonale dieses Parallelogramms würde die Richtung und Kraft der Bewegung des Schiffes ausdrücken.

Im gewöhnlichen Leben wird das obige Gesetz in der Praxis sehr oft befolgt. Jeder Schiffer weiß, daß, wenn er mit einem Kahne über einen Strom fahren und dem Abgangspunkte des Kahnes gerade gegenüber landen will, er den Kiel des Schiffes nicht rechtwinklig auf die Stromrichtung, sondern schiefwinklig dagegen zu richten hat; denn was er durch einen Ruderschlag zu weit vorschreitet, wird er durch die Strömung bis zum folgenden Ruderschlage wieder zurückgetrieben.

3. **Wirkung von mehr als zwei Kräften.** Durch einfache Construction von Parallelogrammen ist man im stande, das Resultat der Kräfte selbst dann anzugeben, wenn mehr als zwei Kräfte gleichzeitig auf einen Gegenstand wirken. Man sucht nämlich zuerst das Resultat aus zwei Kräften, dann das aus der erhaltenen Diagonale und der dritten Kraft u. s. w. Wirkten z. B. auf einen Körper in *o*, *Fig. 129*, drei Kräfte, deren erste ihn von *o* bis *p*, deren zweite gleichzeitig von *o* bis *q*, und deren dritte von *o* bis *r* triebe, so würde er, wirkten die beiden ersten Kräfte allein, in der Diagonale des Parallelogramms *oqsp*, nämlich durch *os* sich bewegen. Tritt die dritte Kraft hinzu, so ist aus dieser Kraft und der Diagonale *os* das Parallelogramm *orts* zu construiren, dessen Diagonale *ot* die Resultirende aus allen drei Kräften ist; der Körper würde also von *o* nach *t* gehen.

Fig. 129.



Wie man durch das Parallelogramm der Kräfte die resultirende Kraft finden kann, ebenso kann auf einfache Weise irgend eine Kraft in zwei oder mehr Seitenkräfte zerlegt werden, indem man die in Rede stehende Kraft als die Diagonale eines Parallelogramms ansieht, das aber, wenn kein bestimmter Fall vorliegt, aus verschiedenen Seitenkräften construirt werden kann. Das Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte werden wir auch bei den Bewegungen der Weltkörper in Geltung sehen.

Zweiter Abschnitt.

Von der Gravitation oder allgemeinen Schwere.

Erstes Kapitel.

Von den Attractions-Gesetzen.

Wir haben bereits oben gesehen, daß die zwischen den Weltkörpern vornehmlich wirksame Kraft die Attractionskraft oder Gravitation, auch wohl allgemeine Schwere genannt wird. Dieselbe wirkt nach bestimmten, zuerst von *Isaak Newton* aufgestellten Gesetzen.

1. **Erstes Attractions-Gesetz.** Da jedes kleinste körperliche Massentheilchen als mit einer gleichen Anziehungskraft begabt gedacht werden muß, so ergiebt sich daraus, daß die Wirkung der Kraft mit Zunahme der Zahl dieser Theile wachsen muß, und zwar so, daß eine 3, 4, 5, 6 100fache Zahl derselben resp. eine 3, 4, 5, 6 100mal so große Anziehung ausüben muß, als ein einzelnes Theilchen. Da die Summe aller Massentheilchen eines Körpers seine Masse heißt, so läßt sich als ein erstes Gesetz aussprechen: Die durch einen Körper bewirkte Anziehung steht im geraden Verhältnis mit seiner Masse oder ist dieser Masse proportional.

Ist darum von mehreren Körpern die Masse bekannt, so kann dadurch leicht auf das Verhältnis der von ihnen unter sonst gleichen Umständen bewirkten Anziehungskraft geschlossen werden. Ist z. B. die Masse der Erde 80mal so groß als die des Mondes, so muß auch die Anziehung der Erde auf den Mond 80mal so groß sein, als die Anziehung des Mondes auf die Erde u. s. w.

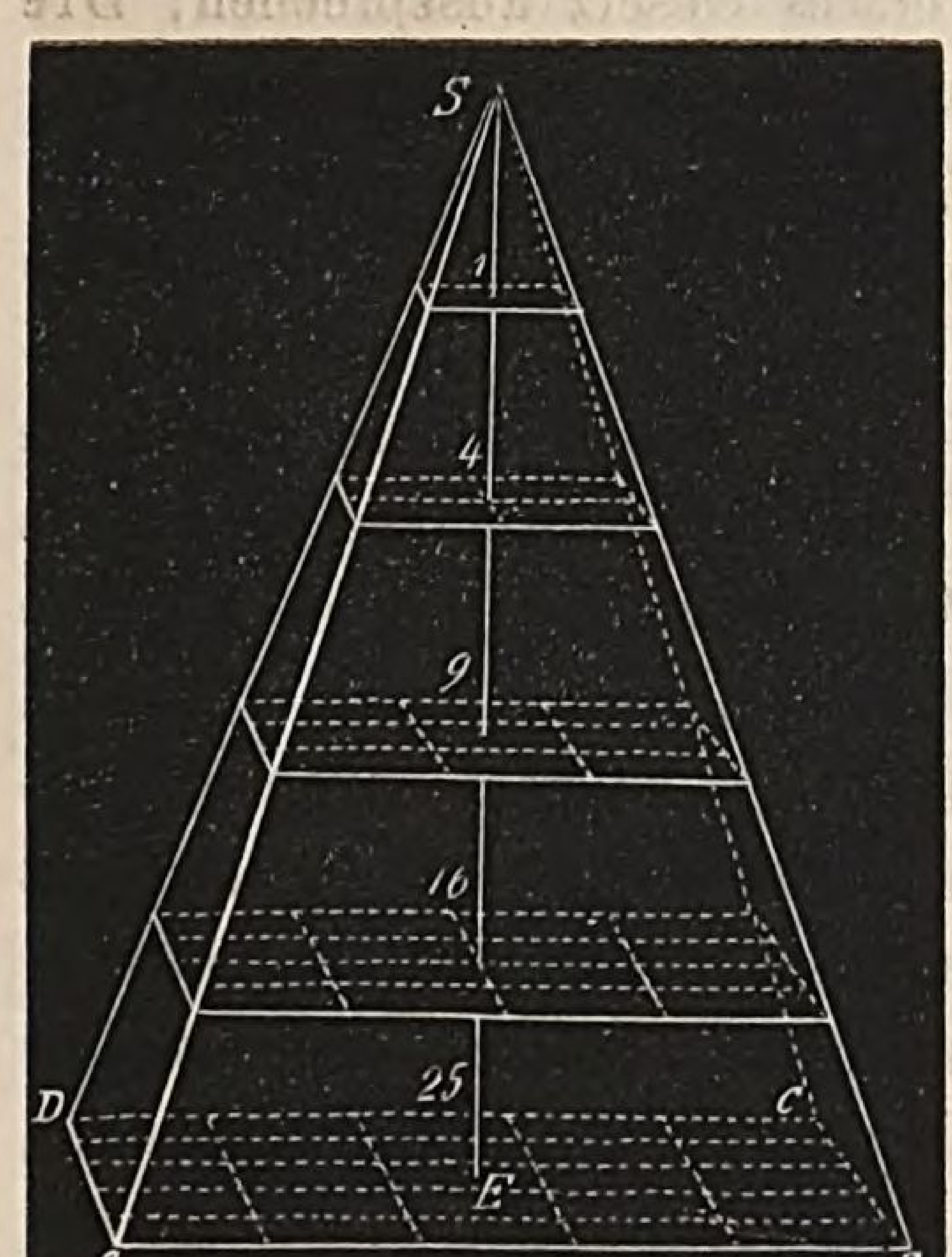
Wenn sich die Massentheilchen oder Moleküle eines Körpers zu einer vollkommenen Kugel ballen und in allen Theilen derselben gleiche Dichtigkeit herrscht, so wirken sie alle so, als ob die ganze Masse in dem Mittelpunkte der Kugel vereinigt wäre, gerade so wie jemand das ganze Gewicht einer solchen Kugel empfindet, wenn er dieselbe in ihrem Mittelpunkte, als dem Schwerpunkte, unterstützt. Dasselbe kann auch bei ungleicher Dichtigkeit der Kugel der Fall sein, wenn nur die Dichtigkeit gleichmäßig nach innen oder außen hin zu- oder abnimmt, oder concentrische Schichten gleicher, wenn auch unter sich verschiedener Dichtigkeit auf einander folgen. Bei Weltkörpern der genannten

Art müßte nach dem Parallelogramm der Kräfte die Lothlinie und die Fallrichtung der Körper genau nach dem Mittelpunkte gerichtet sein, da jeder Schnitt durch diesen Punkt die Kugel in zwei gleichmäßige, und darum in ihrer Anziehung gleich wirkende Theile zerlegt.

Treffen aber die genannten Bedingungen bei einem Weltkörper nicht zu, so darf die von ihm auf Dinge an seiner Oberfläche, oder die auf ihn von andern Körpern geübte Anziehungswirkung nicht so betrachtet werden, als ob die gesamte Masse in seinem Mittelpunkte vereinigt wäre. So haben z. B. mancherlei Ungleichmäßigkeiten in den Dichtigkeitsverhältnissen der Erde, sowie die Abweichung derselben von der vollkommnen Kugelform bei genauen Untersuchungen sowohl Abweichungen der Lothrichtung in verschiedenen Gegenden der Erde, als auch in der Fallrichtung erkennen lassen, wie bereits früher angedeutet worden. Außerdem ruft die Anziehung der Sonne und vornehmlich des Mondes auf die abgeplattete Erde sogenannte Störungen hervor, auf die später noch näher eingegangen werden wird. Wo dergleichen Abweichungen sich nicht constatiren lassen, wird der Mittelpunkt des betreffenden Weltkörpers als der Sitz der gesamten Kraft betrachtet, was die Rechnung wesentlich vereinfacht.

2. **Vorbereitung zum Verständnis des zweiten Gesetzes.** Von jedem Moleküle eines Körpers muß man sich die Anziehungskraft, wie von einem leuchtenden Punkte die Lichtstrahlen und von einem erhitzten Gegenstande die Wärmestrahlen, als nach allen Seiten hin sich strahlenförmig und gleichmäßig verbreitend vorstellen. Hierin liegt das zweite Attractions-Gesetz bereits angedeutet. Folgende Erwägung wird dasselbe leicht verständlich machen.

Fig. 130.



Es stelle, *Fig. 130*, *SABCD* eine 4seitige Pyramide dar, deren Achse *SE* in fünf gleiche Theile getheilt ist. Durch die einzelnen Theilpunkte sind Schnittflächen parallel der Grundfläche gelegt worden. Die Entfernungen dieser Schnittflächen von der Spitze *S* der Pyramide verhalten sich wie die Zahlen *1*, *2*, *3*, *4*, *5* zu einander. Nehmen wir nun die der Spitze nächste Fläche zum Maß für die übrigen, so lehrt der Augenschein, daß die Größe der fünf Schnittflächen sich wie die Zahlen *1*, *4*, *9*, *16*, *25*, also wie die Quadratzahlen der die Entfernung ausdrückenden Zahlen zu einander verhalten.

Zu einem ähnlichen Resultate werden wir gelangen, wenn wir uns Folgendes vergegenwärtigen:

Die Größe eines Kreises ist abhängig von der Größe des Radius, und die Peripherien zweier Kreise verhalten sich wie ihre Radien oder ihre Durchmesser.

Die Fläche eines Kreises ist gleich dem Quadrate des Radius, multiplicirt mit der bekannten Zahl 3,14 ($r^2 . \pi$); folglich verhalten sich die Flächen zweier Kreise wie die Quadrate der Radien.

In demselben Verhältnisse, wie die Flächen zweier Kreise mit verschiedenen Radien, stehen auch die Oberflächen zweier Kugeln mit denselben Radien, da die Kugeloberfläche das Vierfache der Fläche eines größten Kreises der Kugel ist ($4 . r^2 . \pi = D^2 . \pi$).

Denkt man sich nun in den Mittelpunkt mehrerer concentrischer Kugeln, deren Radien sich wie 1 : 2 : 3 : 4 : 5, deren Oberflächen sich nach dem Obigen also wie 1 : 4 : 9 : 16 : 25 verhalten, einen anziehenden Körper versetzt, dessen Anziehungskraft sich nach allen Seiten hin gleichmäßig ausbreitet; so kann die Anziehung, die ein einzelner Punkt der 2., 3., 4., 5. Kugelfläche erfährt, da sich die anziehende Kraft über einen resp. 4, 9, 16, 25fachen Raum verbreitet, auch nur den 4., 9., 16., 25. Theil derjenigen betragen, welche auf einen Punkt der ersten Kugelfläche ausgeübt wird. Die Summe der Anziehung für alle Punkte jeder einzelnen Kugel ist stets gleich der Anziehungskraft des Centralkörpers.

3. **Zweites Attractions-Gesetz.** Aus dem Gesagten ergiebt sich, daß die Wirkung der Anziehungskraft bei zunehmender Entfernung vom anziehenden Körper abnimmt, und zwar im Verhältnis der Quadratzahlen der Entfernung. Es kann deshalb als ein zweites Attractions-Gesetz ausgesprochen werden:

Die Anziehung, welche ein Körper auf andere in verschiedenen Entfernungen ausübt, steht im umgekehrten Verhältnis mit den Quadratzahlen dieser Entfernungen. Es nimmt also die Anziehung ab, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen; sie nimmt zu, wie diese Quadrate abnehmen.

Es besteht also in 10, 20, 30, 40 100facher Entfernung

nur $\frac{1}{100}$ $\frac{1}{400}$ $\frac{1}{900}$ $\frac{1}{1600}$ $\frac{1}{10000}$ der Anziehung,

woraus natürlich auch folgt, daß bei $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{40}$ $\frac{1}{100}$ Entfernung

die Anziehung eine 100 400 900 1600 ... 10000fache ist.

Fassen wir das Bisherige zusammen, so finden wir zwischen den Weltkörpern zwei wichtige Attractions-Gesetze wirksam: es steht nämlich die Anziehung im geraden Verhältnis mit der Masse, und im umgekehrten Verhältnis mit den Quadratzahlen der Entfernung. Wird demnach die Masse eines Körpers durch M, seine Entfernung von einem angezogenen durch E bezeichnet, so ist $\frac{M}{E^2}$ ein kurzer Ausdruck für die durch ihn bewirkte Anziehung.

4. **Anwendung der Gesetze.** Mit Hilfe des zweiten Gesetzes ist es sehr leicht, das Verhältnis der Anziehung zu bestimmen, welche die Sonne auf

alle einzelnen Planeten ausübt. Es ist hierbei nur das Verhältnis der Entfernungen zu berücksichtigen, da die Masse der Sonne in allen Fällen dieselbe bleibt. Nehmen wir die Entfernung von der Sonne an bei:

	Merkur	Venus	Erde	Mars	Juno	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
zu	8	15	20	31	55	107	197	396	621 mill. Mln.,
so sind die Quadrate der Entfernung	64	225	400	961	3025	11449	38809	156816	385641.

Wird nun die auf die Erde ausgeübte Anziehung = 1 gesetzt, so ist dieselbe bei:

Merkur	Venus	Erde	Mars	Juno	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
6,25	1,77	1	0,41	0,13	0,035	0,01	0,0025	0,001.

Mit Berücksichtigung beider Gesetze lassen sich ebenfalls interessante Fragen beantworten.

Erstes Beispiel. Wie verhält sich die Kraft, mit welcher die Sonne den Mond anzieht, zu derjenigen, mit welcher die Erde auf ihren Begleiter wirkt?

Es ist die Masse der Sonne = 359551 mal die Erdmasse, und die Entfernung der Sonne vom Monde 400 mal so groß als die Entfernung des Mondes von der Erde. Darum verhält sich nach dem Obigen die Anziehung der Sonne auf den Mond zu der der Erde auf ihn $= \frac{359551}{400 \times 400} : \frac{1}{1 \times 1} = 2{,}24 : 1$. Die Sonne wirkt also fast $2^1/_4$ mal so stark auf den Mond, als die Erde. Die Hauptbewegung des Mondes ist darum die um die Sonne. Die Ungleichheit der Anziehung, welche der Mond in jedem Monat einmal wegen der durch seine Bewegung um die Erde veränderlichen Entfernung von der Sonne, sodann auch wegen der verschiedenen Richtung erfährt, in welcher die Sonne namentlich in den Quadraturen auf ihn wirkt, überwindet die Erde und fesselt den Mond als ihren Begleiter an sich.

Zweites Beispiel. Wie verhält sich bei Jupiter die Anziehung der Sonne auf seinen ersten Mond zu seiner eigenen Anziehung auf denselben Mond?

Die Masse der Sonne ist = 1048 mal die Jupitersmasse, die Entfernung der Sonne vom 1. Jupitersmonde = 1845 mal die Entfernung Jupiters vom Monde. Es verhält sich darum die Anziehung der Sonne auf den ersten Jupitersmond zu der Anziehung Jupiters auf denselben Mond $= \frac{1048}{1845 \times 1845} : \frac{1}{1 \times 1} = 0{,}0003 : 1$; demnach zieht die Sonne den 1. Jupitersmond bedeutend schwächer an als Jupiter.

Drittes Beispiel. Die Sonne und Jupiter ziehen beide die Erde an. Wie verhalten sich die Anziehungen beider auf die Erde?

Die Masse der Sonne ist = 1048 mal die Jupitersmasse, die Entfernung der Sonne von der Erde = 20 mill. Mln., die kleinste Entfernung Jupiters von der Erde = 81 mill. Mln. Demnach verhält sich die Anziehung der

Sonne auf die Erde zu der Jupiters in seiner größten Nähe auf dieselbe = $\frac{1048}{20\times20} : \frac{1}{81\times81} = \frac{1048}{400} : \frac{1}{6561} = 2,6 : \frac{1}{6561} = 17058:1$. Die Wirkung der Sonne auf die Erde ist also 17058 mal so stark, als die Jupiters auf die Erde; aber dennoch ist die letztere durchaus noch nicht Null, sondern sie hat noch einen merklichen Einfluß auf die Erde, wie wir noch sehen werden.

Mit Benutzung der auf S. 443 ff. in den Tabellen stehenden Daten über Massen und Entfernungen der Planeten ist man im stande, noch viele ähnliche Aufgaben zu lösen. Die hier mitgetheilten werden die Art der Lösung derselben haben erkennen lassen.

Zweites Kapitel.

Von der Wirkung der terrestrischen Schwere.

I. Vom freien Fall der Körper.

1. Die Erde fesselt alle auf ihr befindlichen Dinge an sich. Die der Erde eigene Anziehungskraft fesselt alle an ihrer Oberfläche befindlichen Körper an sich und erlaubt nicht, daß materielle Theile sich von ihr entfernen und etwa der Sonne folgen; denn wegen der geringen Entfernung, in der sich diese Dinge vom Erdmittelpunkte befinden, überwiegt der Einfluß der Erde, wie eine einfache Rechnung zeigt, bei weitem den von der Sonne auf diese Dinge geübten. Die Sonnenmasse ist nämlich 359551 mal so groß als die der Erde; aber diese Masse wirkt in einer Entfernung von 23256 Erdhalbmessern, während die Erde auf die Dinge ihrer Oberfläche in der Entfernung nur eines Halbmessers wirksam ist. Darum verhält sich die Kraft, mit welcher die Sonne die Dinge auf der Erdoberfläche anzieht, zu der, mit welcher sie von der Erde angezogen werden = $\frac{359551}{23256\times23256} : 1 = \frac{359551}{540841536} : 1 = 0,00066 : 1$; die Erde fesselt daher die Dinge auf ihrer Oberfläche mit einer Kraft an sich, welche die der Sonne 1515 mal übertrifft. Darum muß ein in die Höhe geworfener Körper infolge der terrestrischen Schwere stets wieder zur Erde zurückkehren, und ein der Unterstützung beraubter Körper fallen. Der Fall der Körper ist also eine Wirkung der terrestrischen Schwere, und die Geschwindigkeit, mit der ein Körper in der 1. Sekunde fällt, ist ein Maß für die Größe dieser Schwere. Wie schon bemerkt, fallen im luftleeren Raum alle Körper gleich schnell; es ist darum die Wirkung der Schwere (in gleicher Entfernung vom Erdmittelpunkt) auf alle Körper gleich.

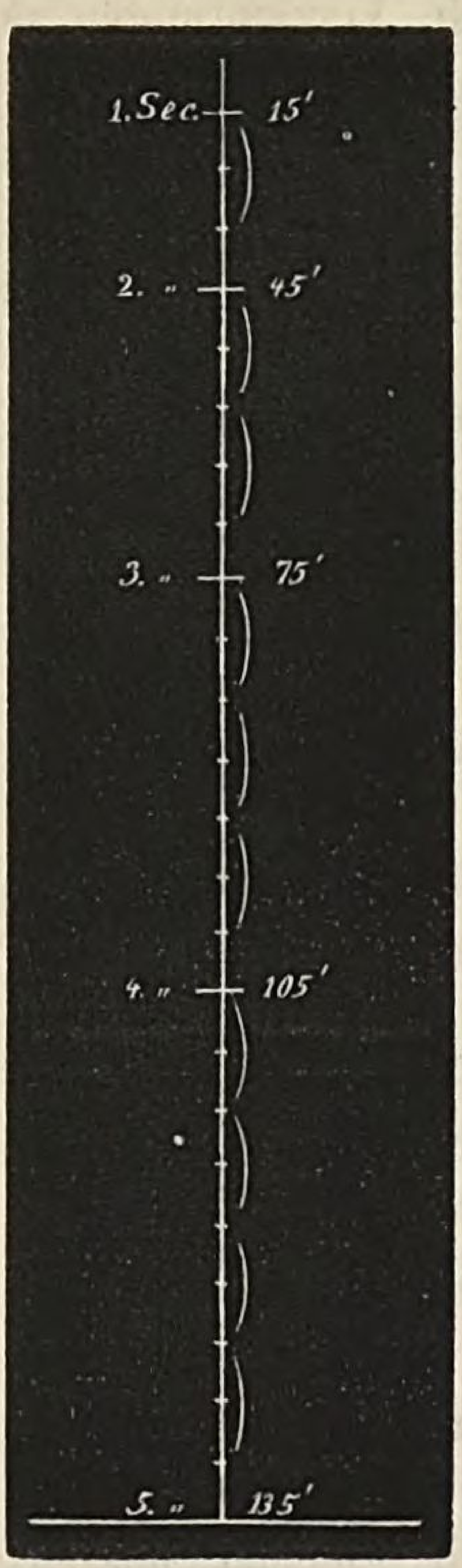
2. **Größe des Fallraumes.** Wenn man einen Körper frei fallen läßt, so fällt er wegen der stetig und gleichmäßig wirkenden Anziehungskraft der Erde mit gleichmäßig beschleunigter Bewegung. Fallversuche haben gezeigt, daß der Fallraum (nahe der Meeresfläche) in der 1. Sekunde des Falles c. 15 Fuß beträgt. In der 2., 3., 4., 5. Sekunde aber fällt ein Körper durch resp. 3×15, 5×15, 7×15, 9×15 oder durch 45, 75, 105, 135 Fuß. Es verhalten sich demnach die in gleichen auf einander folgenden Zeiten durchlaufenen Räume wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9, und die Vermehrung des Fallraumes in jeder folgenden Sekunde beträgt 30 Fuß oder das Doppelte des Fallraumes in der 1. Sekunde. Dies sind auf dem Wege der Beobachtung gewonnene Thatsachen; aber bei einiger Ueberlegung sieht man leicht ein, daß sie in der angegebenen Weise erfolgen müssen.

3. **Erklärung der Thatsache.** Der Fallraum in der 1. Sekunde ist, und dies kann nur auf dem Wege der Beobachtung herausgebracht werden, etwa 15 Fuß; diesen Raum durchfällt der Körper, getrieben durch die Anziehung der Erde, mit gleichmäßig beschleunigter Bewegung. Zu Anfange des Falles ist seine Geschwindigkeit $= 0$; wie groß aber muß sie zu Ende der 1. Sekunde sein? Wir wollen diese Geschwindigkeit allgemein g nennen. Jedenfalls ist sie größer als am Anfang, aber auch größer als in der Mitte der 1. Sekunde. In der Mitte muß sie nothwendig die Hälfte der Anfangs- und Endgeschwindigkeit, also $= \frac{0 + g}{2} = \frac{g}{2}$ sein; mit dieser Durchschnittsgeschwindigkeit würde der Körper bei gleichmäßiger Bewegung denselben Raum durchlaufen haben.

Wenn er aber mit der Geschwindigkeit $\frac{g}{2}$ 15 Fuß durchläuft, so muß er mit der Geschwindigkeit $g = 2 \times 15 = 30$ Fuß durchlaufen. Der Körper hat also nach einer Sekunde eine Endgeschwindigkeit erlangt, mit der er in jeder Sekunde den doppelten Fallraum der 1. Sekunde, also 30 Fuß durchlaufen würde, falls er dem Beharrungsvermögen allein folgte und die Schwerkraft der Erde auf ihn zu wirken aufhörte.

Aber diese Schwerkraft ist eine stetige, gleichmäßig wirkende Kraft und treibt ihn in jeder Sekunde durch 15 Fuß. In der 2. Sekunde muß also der Körper wegen des Beharrungsvermögens 30 Fuß, wegen der Schwere 15 Fuß, zusammen also $3 \times 15 = 45$ Fuß durchlaufen *(Fig. 131).* Durch die letzten 15 Fuß als Wirkung der Schwere hat der Körper, wie am Ende der 1. Sekunde, abermals eine Zunahme der Endgeschwindigkeit von 30 Fuß erlangt, und diese Endgeschwindigkeit zu der wegen des Beharrungsvermögens fortgesetzten ersten hinzugefügt, giebt für das Ende der 2. Sekunde eine Endgeschwindigkeit von 2×30 Fuß $= 60$ Fuß. Diesen fügen sich wieder 15 Fuß als Wirkung der Schwere hinzu, so daß der Fallraum in der 3. Sekunde $60 + 15 = 75$ Fuß sein muß. Ganz auf die angegebene Weise wächst nach jeder Sekunde die

Fig. 131.



Endgeschwindigkeit um 30 Fuß; sie muß also, wenn sie nach der 1. Sekunde 30 Fuß, nach der 2. Sekunde 60 Fuß beträgt, nach der 3., 4., 5. Sekunde resp. gleich 90, 120, 150 . . . Fuß sein, und demnach müssen die Fallräume (siehe Figur) während der 3., 4., 5. Sekunde resp. = 60 + 15 = 75, 90 + 15 = 105, 120 + 15 = 135 Fuß betragen.

4. **Fallgesetze.** Eine aufmerksame Betrachtung der oben genannten Zahlen führt zu folgenden Fallgesetzen.

Was zunächst die Endgeschwindigkeiten nach der 1., 2., 3., 4. Sekunde, nämlich die Zahlen 30, 60, 90, 120 Fuß betrifft, so verhalten sich dieselben offenbar wie die seit Anfang des Falles verflossenen Zeiten, resp. 1, 2, 3, 4, so daß als ein erstes Fallgesetz ausgesprochen werden kann:

1) Die Endgeschwindigkeiten sind stets den von Anfang des Falls an verflossenen Zeiten proportional.

Diesem Gesetze kann als ein bereits verständliches hinzugefügt werden:

2) Die in den einzelnen Zeittheilen durchlaufenen Räume verhalten sich wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9 etc.

Vergleicht man aber die von Anfang des Falls an durchlaufenen Räume, so stellt sich ein anderes Verhältnis heraus. Es betragen nämlich die Fallräume in:

1 Sek.	2 Sek.	3 Sek.	4 Sek.	5 Sek.
1 × 15 Fuß	4 × 15 Fuß	9 × 15 Fuß	16 × 15 Fuß	25 × 15 Fuß.

Die das Verhältnis bezeichnenden Zahlen 1, 4, 9, 16, 25 sind offenbar nichts als die Quadratzahlen der entsprechenden Zeiten; es gilt daher als 3. Fallgesetz:

3) Die Gesamtwege von Anfang der Bewegung an sind den Quadratzahlen der Zeiten proportional.

Mit Hilfe dieser durch *Galilei* gefundenen Fallgesetze lassen sich verschiedene interessante Aufgaben lösen; doch kann hier auf dieselben nicht näher eingegangen werden. Uebrigens muß noch bemerkt werden, daß das Gesagte streng nur für den Fall der Körper im luftleeren Raume gilt.

5. **Schiefe Ebene und Fallmaschine.** Um sich von der Richtigkeit der oben mitgetheilten Fallgesetze durch Versuche zu überzeugen, sind Fallversuche, bei denen man die Körper einfach von gewissen Höhen herabfallen läßt, wenig geeignet, einmal, weil die Fallgeschwindigkeit zu groß ist, um deutlich wahrgenommen werden zu können, und die geringste Differenz in der Zeitbestimmung, sowie der Widerstand der Luft, das Resultat wesentlich beein-

trächtigen; andererseits, weil sehr große geeignete Höhen nöthig sind, die nicht immer zu gebote stehen. Man hat deshalb darauf gesonnen, Vorrichtungen zu construiren, durch welche die Fallgeschwindigkeit vermindert, aber das Verhältnis der Fallräume nicht gestört wird. Die einfachste ist die schon von *Galilei* angewandte schiefe Ebene, d. i. eine möglichst glatte, in Fuß, Zoll, Linien etc. getheilte Rinne, der man jede beliebige Neigung zum Horizonte geben kann. Auf solcher schiefen Ebene läßt man dann möglichst leicht bewegliche Körper hinabgleiten und bestimmt dabei die in gewissen Zeiteinheiten durchlaufenen Räume. Ein günstiger Umstand dabei ist, daß man die Geschwindigkeit des hinabgleitenden Körpers durch Veränderung des Neigungswinkels der Ebene beliebig vergrößern oder verkleinern kann.

Ein vollkommneres Mittel, die Fallgesetze anschaulich zu machen, ist die *Atwood*sche Fallmaschine, deren Einrichtung in physikalischen Lehrbüchern genauer beschrieben ist.

6. **Richtung des Falles.** Wäre die Erde eine vollkommene Kugel, so müßten die Körper in allen Breiten mit gleicher Geschwindigkeit fallen; dies ist aber wegen der abgeplatteten Gestalt der Erde unmöglich. Welche Folgen dies auf den Fall der Körper üben muß, haben wir bereits S. 98 besprochen, weshalb wir uns hier begnügen, darauf zurückzuweisen. Ebenso ist bereits angedeutet worden, daß die Abplattung der Erde auf die Richtung des Falles von Einfluß sein muß. Bei vollkommener Kugelgestalt und bei symmetrisch vertheilter Dichtigkeit würde die Erde von einem durch ihren Mittelpunkt gehenden Schnitt in zwei Hälften mit gleicher Massenvertheilung getheilt werden. Dies ist aber wegen der sphäroidischen Gestalt der Erde nicht der Fall, sondern nur in zwei Fällen würden zwei Hälften mit gleicher Massenvertheilung entstehen, nämlich 1) wenn der Schnitt durch die Achse, 2) wenn er durch den Aequator geführt würde. In allen anderen Fällen entstehen zwei Hälften, in denen die Massen ungleich vertheilt sind. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man eine Ellipse, die einen Erdmeridian vorstellen kann, in verschiedenen Richtungen durchschneidet.

Auf dem Aequator muß die Richtung eines fallenden Körpers, da nach N. und S., O. und W. je gleiche Massen in gleichen Entfernungen wirken, nach dem Parallelogramm der Kräfte genau nach dem Centrum der Erde gehen, und dasselbe muß an jedem Pole geschehen. In den mittleren Breiten indessen muß die Fallrichtung seitlich vom Mittelpunkte gehen. Für einen Ort auf der nördlichen Halbkugel liegt die am Aequator aufgehäufte Masse nach S., für einen Ort der südlichen Halbkugel nach N.; für ersteren muß darum die Richtung des Falles etwas nach S., für letzteren nach N. von der zum Erdmittelpunkte gehenden Linie abweichen.

7. **Fallgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen.** Weil nach dem zweiten der oben angegebenen Gravitationsgesetze die Anziehung im umgekehrten Verhältnis mit den Quadraten der Entfernung steht, so kann unmöglich die Fallgeschwindigkeit in allen Höhen dieselbe sein, vielmehr muß sie mit

zunehmender Höhe abnehmen. Die dem Menschen zu Fallversuchen zugänglichen Höhen sind gegen die Entfernung der Erdoberfläche vom Mittelpunkte nur unbedeutend, und darum waren wir berechtigt, bei den oben entwickelten Fallgesetzen die Wirkung der Schwere auf den fallenden Körper während des Falls als gleich zu betrachten. Vollkommen gleich groß ist indessen, streng genommen, die Wirkung der Schwere nur in gleichen Höhen oder in gleichen Entfernungen vom Erdmittelpunkte. In der Höhe von einer deutschen Meile, etwa nahe dem Gipfel des Dhawala-Giri, müßte die Fallhöhe in der 1. Sek. schon merklich kleiner sein. Wird die Entfernung des Meeresniveaus vom Erdmittelpunkte, von welchem ersteren aus man bekanntlich die Höhen zu bestimmen pflegt, zu 860 geogr. Mln. angenommen, so beträgt die Entfernung in 1 Meile Höhe 861 geogr. Mln. Mit Berücksichtigung des zweiten Gravitationsgesetzes muß ein Körper in dieser Höhe in 1 Sekunde durch einen Raum von $\frac{860 \times 860}{861 \times 861} \times 15$ Fuß $= 14{,}9$ Fuß fallen. In ähnlicher Weise findet man für eine Fallhöhe von 10 Mln. Höhe noch 12,03 Fuß, und für eine Entfernung von 51000 geogr. Mln. oder von 60 Erdhalbmessern vom Mittelpunkte nur noch $^1/_{240}$ Fuß $=$ 9 Linien. Um diese geringe Größe würde also der Mond in der 1. Sekunde in gerader Linie zur Erde fallen, wenn er der Anziehung der Erde direkt folgte.

II. Vom Pendel.

Von dem einfachen Pendel haben wir bereits S. 99 gesprochen und dasselbe durch seine Schwingungen als ein Mittel kennen gelernt, die verschiedene Intensität der terrestrischen Schwere in verschiedenen Breiten und dadurch die Abplattung und zugleich die Rotation der Erde zu beweisen. Wir wollen hier die wichtigsten Gesetze über das Pendel, welche wir, wie die Fallgesetze, *Galilei* verdanken, kurz zusammenstellen und dieselben als in der Wirkung der auf das Pendel wirkenden Kräfte begründet zu begreifen uns bemühen.

Die Schwingungen des Pendels sind eigentlich nichts, als ein verhinderter freier Fall oder als der Fall eines Körpers auf einer schiefen Ebene, und die meisten Pendelgesetze lassen sich einfach aus denen des Falls ableiten.

Auf ein schwingendes Pendel wirken ebenfalls zwei Kräfte, nämlich die Anziehung der Erde und das Beharrungsvermögen, die bei krummlinigen Bewegungen die Schwungkraft heißt. Die erstere Kraft bewirkt bei dem aus der vertikalen Lage gebrachten Pendel die erste absteigende Bewegung und macht als eine stetig wirkende Kraft beim Emporsteigen desselben die Bewegung zu einer verzögerten; letztere bewirkt beim Hinabsteigen des Pendels die Beschleunigung der Bewegung und ist die Ursache des Aufsteigens nach dem Durchgange des Pendels durch die Vertikale. Da die Anziehungskraft der Erde keine wählerische ist und auf jedes Molekül eines Körpers mit gleicher Stärke wirkt, so gilt als unmittelbar klares

1. **Erstes Gesetz:** Die Schwingungen eines Pendels sind von der Natur und dem Gewichte des schwingenden Körpers unabhängig.

Haben zwei Pendel gleiche Länge, so müssen sie bei gleichen Ausschlags- oder Elongationswinkeln, in gleicher geographischen Breite und gleicher Höhe über dem Meeresspiegel, da Schwere und Schwungkraft unter gleichen Umständen wirken, in gleichen Zeiten eine gleiche Zahl von Schwingungen machen; es gilt also:

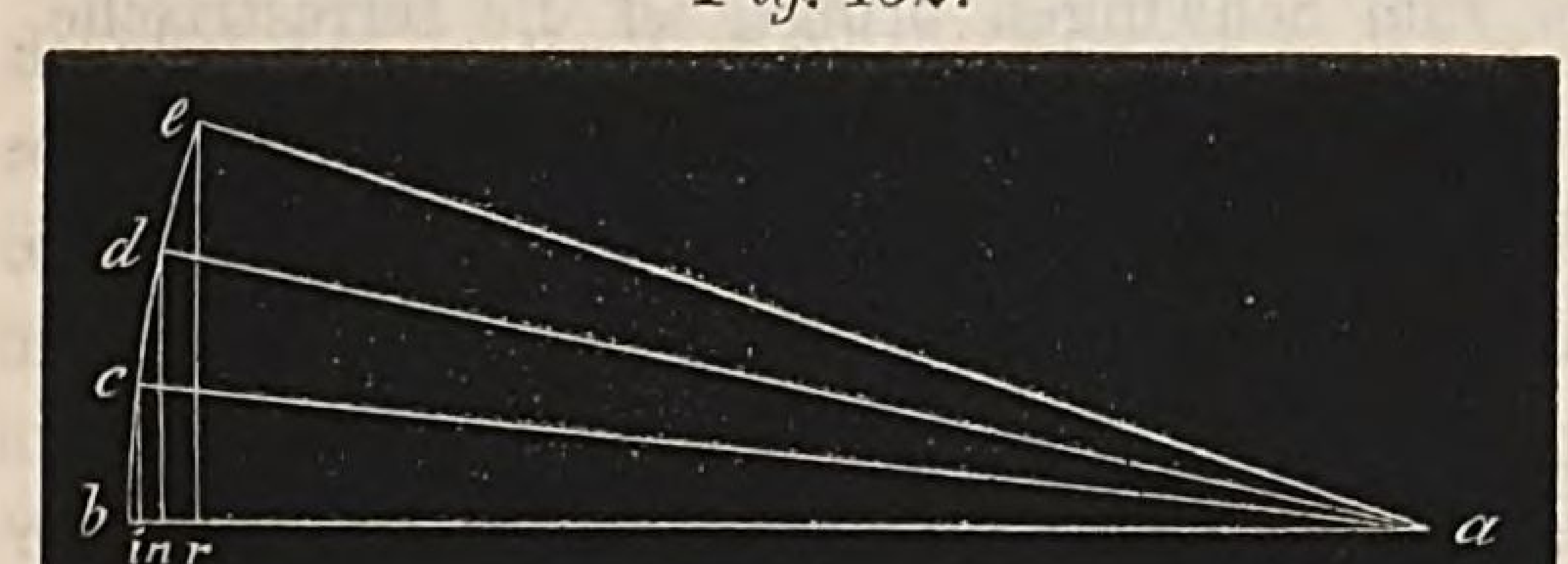
2. **Zweites Gesetz:** Pendel von gleicher Länge schwingen in gleicher geographischen Breite und in gleicher Höhe über dem Meeresspiegel gleich schnell oder sie sind isochron.

Hieraus folgt auch:

3. **Drittes Gesetz:** Ein und dasselbe Pendel macht an einem und demselben Orte in gleichen Zeiten eine gleiche Anzahl von Schwingungen, wenn anders die Elongationswinkel nur klein sind und eine gewisse Grenze nicht überschreiten.

Wenn also z. B. ein Pendel einmal mit einem Elongationswinkel von 4°, ein andermal von 1° schwingt, so hat dies auf die Dauer der Schwingungen keinen Einfluß. Es läßt sich dieser Satz leicht aus den Gesetzen des Falls auf schiefer Ebene herleiten; denn der von einem Pendel beschriebene Bogen ist als eine schiefe Ebene anzusehen, deren Neigungswinkel sich stetig verändert. Die Geschwindigkeit, mit der ein Körper von einer schiefen Ebene hinabgleitet, ist, populär ausgedrückt, der Erhebung oder der Höhe der Ebene, genauer gesagt, dem Sinus des Neigungswinkels proportional.

Fig. 132.



Nun wachsen aber bei kleinen Winkeln die Sinus ziemlich genau wie die Winkel, wie aus *Fig. 132* ersehen werden kann, welche drei Ebenen *ac*, *ad* und *ae* in Neigungswinkeln gegen die Horizontale *ab* darstellt, die sich wie 1 : 2 : 3 verhalten. Fast genau in demselben Verhältnis stehen aber auch die von *c*, *d*, *e* auf *ab* herabgefällten Lothe *ci*, *dn*, *er*, die Sinus der Neigungswinkel; darum müssen sich auch die Geschwindigkeiten, mit denen ein Körper von diesen Ebenen hinabgleitet, resp. wie 1 : 2 : 3 verhalten. Wenden wir dies auf das Pendel an, so folgt daraus, daß ein Pendel bei ungleichem Elongationswinkel in gleichen Zeiten doch gleichviel Schwingungen durchlaufen muß, indem mit dem größeren Bogen auch eine entsprechend größere Geschwindigkeit verbunden ist. Wird indessen der Elongationswinkel groß, so hört das dritte Gesetz auf richtig zu sein.

Pendel von ungleicher Länge schwingen ungleich schnell, und zwar schwingt das längere Pendel langsamer als das kürzere. In welchem Verhältnis die Pendellängen zu den Schwingungszeiten stehen, dies läßt sich aus

dem 3. Gesetze des freien Falls ableiten. Es verhalten sich nach demselben die von Anfang der Bewegung an durchlaufenen Räume wie die Quadrate der Zeiten.

Auf das Pendel angewandt, entsprechen den Fallräumen die Pendellängen; darum gilt als

4. **Viertes Gesetz.** Die Pendellängen verhalten sich wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Vollendeten also z. B. 3 Pendel je eine Schwingung in resp. 1, 2, 3 Sek., so würden die Quadrate dieser Zahlen: 1, 4, 9, das Längenverhältnis der betreffenden Pendel angeben. Ein Pendel, das die 2, 3, 4fache Zeit zu einer ganzen Schwingung gebraucht, muß daher resp. 4, 9, 16mal so lang sein.

Verhalten sich nach dem vorstehenden Gesetze die Quadrate der Schwingungszeiten wie die Pendellängen, so müssen, wie sich einfach ergiebt:

5. **Fünftes Gesetz.** Die Schwingungszeiten sich wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen verhalten, ein Satz, der näherer Erläuterung nicht bedürfen wird.

Von den Schwingungszeiten hängt aber die Zahl der in einer gewissen Zeit gemachten Schwingungen ab, und man sieht leicht ein, daß zwischen den Schwingungszeiten und Schwingungsmengen ein umgekehrtes Verhältnis stattfinden muß; denn je kleiner die Zeit einer Schwingung ist, desto größer muß die in einer gewissen Zeit vollendete Zahl der Schwingungen sein, und umgekehrt. Es gilt in dieser Beziehung als

6. **Sechstes Gesetz.** Die Quadrate der (in einer gewissen Zeit gemachten) Schwingungsmengen verhalten sich umgekehrt wie die Pendellängen, welcher Satz sich aus dem 4. Gesetze ergiebt.

Die Kraft, welche das Pendel zum Schwingen bringt, ist die terrestrische Schwere, und jedenfalls hängt von der Stärke dieser die Schwingungszeit, sowie die Menge der in gewissen Zeiten vollendeten Schwingungen ab.

Diese beiden, Schwingungszeiten und Schwingungsmengen, sind aber auch, wie wir mehrfach gesehen haben, durch die Länge des Pendels bedingt, und darum sind, wie bei dem freien Fall die in einer bestimmten Zeit durchlaufenen Fallräume, so die Länge gleich schnell schwingender oder isochroner Pendel Maße für die Stärke der Anziehung. Es gilt daher als

7. **Siebentes Gesetz.** Bei gleichen Ausschlagswinkeln und Schwingungszeiten verhalten sich die Schwerkräfte wie die Pendellängen.

Bei richtigem Verständnis dieser Pendelgesetze, namentlich des letzteren Gesetzes, werden wir aus dem verschiedenen Verhalten der Pendel in verschiedenen Erdgegenden wichtige Schlüsse auf die Größe der Schwerkraft in verschiedenen Breiten der Erde ziehen können. Das zu Versuchen häufigst angewendete Pendel ist das Sekundenpendel. Wir haben bereits gesehen, wie dasselbe in verschiedenen Breiten eine verschiedene Länge haben muß, da die Schwerkraft wegen der mit der Abplattung der Erde zusammenhangenden Ungleichheit der

Entfernung vom Mittelpunkte und wegen der verschiedenen Größe der Schwungkraft in verschiedenen Breiten ungleich stark wirkt.

8. **Beispiel.** Gesetzt, ein Pendel von 12 Fuß Länge mache in Paris in 1 Stunde 1876 Schwingungen; wie lang ist das Sekundenpendel daselbst?

Erwägt man, daß ein Sekundenpendel in 1 Std. 3600 Schwingungen macht, so ergiebt sich nach dem 6. Gesetze die Proportion: $3600^2 : 1876^2 = 12$ Fuß : x Fuß. Berechnet man die Quadratzahlen der Schwingungen, so erhält man $12960000 : 3519376 = 12$ Fuß : x Fuß, woraus sich $x = \frac{3519376 \times 12}{12960000} = 3{,}26$ Fuß ergiebt; diese Zahl giebt also die Länge des Sekundenpendels für Paris an.

Dasselbe Resultat hätte sich auch mit Hilfe des 4. Gesetzes ergeben. Die Schwingungszeit des Sekundenpendels ist = 1 Sek., die des andern gegebenen $= \frac{3600}{1876}$ Sek.; demnach verhält sich: $1^2 : \left(\frac{3600}{1876}\right)^2 = x$ Fuß : 12 Fuß, und hieraus folgt $x =$ dem 12. Theil von $\frac{12960000}{3519376} = 3{,}26$ Fuß, wie oben.

9. **Abweichung zwischen Theorie und Beobachtung.** Die Erde ist abgeplattet; da man aber die Größe der Abplattung, nach *Bessel* $\frac{1}{299{,}1528}$, kennt, so läßt sich daraus die Länge des Erdradius oder die Entfernung eines Punktes der Erdoberfläche vom Mittelpunkte in jeder beliebigen Breite berechnen, und da außerdem die Größe der Schwungkraft für jeden Punkt sich leicht finden läßt; so ist es nach den bekannten Gravitationsgesetzen möglich, das Verhältnis der Schwerkraft in den verschiedenen Breiten der Erde auf rein theoretischem Wege zu bestimmen. Kennt man aber das Verhältnis der Schwerkraft in verschiedenen Breiten und die Länge des Sekundenpendels für einen Ort genau, so läßt sich, da sich nach dem 7. Gesetze die Längen der Sekundenpendel wie die Schwerkräfte verhalten, die Länge des Sekundenpendels für jede Breite der Erde durch eine einfache Rechnung finden. Solche Rechnungen sind ausgeführt worden. Vergleicht man aber die auf theoretischem Wege gefundene Länge des Sekundenpendels mit der aus unmittelbaren Beobachtungen abgeleiteten, so findet man kleine Abweichungen, welche aus der folgenden kleinen Tabelle zu ersehen sind. In derselben ist die Zahl der Schwingungen angegeben worden, um welche das berechnete Pendel gegen ein an dem Orte beobachtetes Pendel in einem Tage voranschreitet (+) oder zurückbleibt (—).

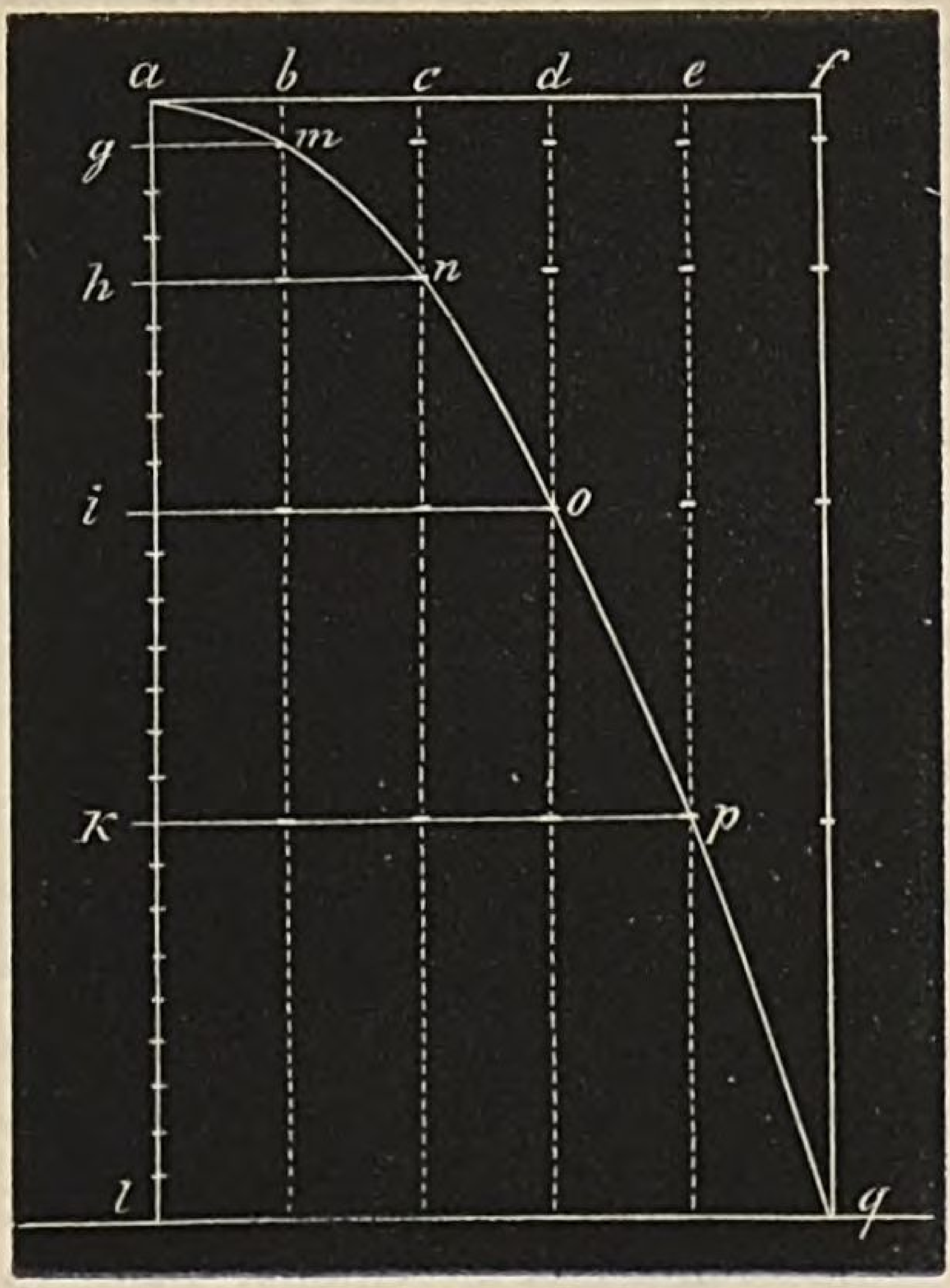
St. Thomas	+ 3,64	New-York	— 0,63
Maranham	— 6,18	London	— 0,43
Ascension	+ 3,16	Drontheim	— 2,72
Sierra Leone	— 1,73	Hammerfest	— 0,03
Trinidad	— 5,98	Grönland	+ 0,5
Bahia	— 3,28	Spitzbergen	+ 4,19
Jamaika	— 1,42		

Aus diesen Abweichungen folgt, daß der Boden einen Einfluß auf die Pendelschwingungen ausübt, und zwar wahrscheinlich dadurch, daß er an einigen Stellen dichter als an andern ist. An den ersteren Oertern beschleunigt, an den letzteren verzögert er die Bewegung des Pendels. Auch die Abweichung der Erde von der Gestalt eines mathematischen Ellipsoids muß sich in den Pendelschwingungen kundgeben. So ist das Pendel zu einem Instrument geworden, das uns auf Thatsachen aufmerksam macht, die uns sonst gewiß entgehen würden. Da sich seine Schwingungen und die Länge des Sekundenpendels genau bestimmen lassen, so hat man auch die mit den Pendellängen in gleichem Verhältnis stehenden Fallräume in der 1. Sekunde, welche aus direkten Fallversuchen aus angegebenen Gründen schwer zuverlässig herzuleiten sind, für verschiedene Breiten aus Pendelbeobachtungen berechnet. Ja, es ist in der Hand geschickter Physiker sogar zu einem Mittel geworden, die Masse und das Gewicht der Erde zu bestimmen, wie wir noch sehen werden.

III. Von der Wurfbewegung.

Bei den Bewegungen der Körper im freien Falle und beim Pendel wirken zwei Kräfte auf dieselben, die Schwerkraft der Erde und das Beharrungsvermögen. Wir wollen jetzt zu diesen beiden Kräften noch eine dritte, eine Stoß- oder Wurfkraft hinzufügen, um den Bewegungen der Himmelskörper näher zu kommen, und sehen, welche Eigenschaften die von einem geworfenen Körper durchlaufene Bahn haben muß. Es können diese Eigenschaften leicht aus den Gesetzen des freien Falls hergeleitet werden.

Fig. 133.



Gesetzt, ein Körper in a, *Fig. 133*, werde mit einer Kraft in horizontaler Richtung geworfen, so daß er in 1 Sek. den Weg ab macht. Wegen des Beharrungsvermögens wird er in jeder folgenden Sekunde einen ebenso großen Weg zurücklegen: $ab = bc = cd = de = ef$. Da aber die Schwerkraft der Erde auf ihn wirkt, und diese an einem und demselben Orte als parallel wirkend angenommen werden kann, so muß er in der 1. Sek. zugleich durch einen Raum $= ag$ fallen. Er muß also nach dem Parallelogramm der Kräfte am Ende der 1. Sek. in m anlangen, so daß sein Weg der Bogen am ist. Am Ende der 2. Sek. muß er in einem Punkte sein, der wegen des Stoßes

von a um $ab + bc$, wegen des Falls von c um $ag = gh$ entfernt ist. Diesen Bedingungen entspricht Punkt n. Aus ähnlichen Gründen muß der Körper am Ende der 3., 4., 5. Sekunde in o, p, q sich befinden, und da Schwerkraft und Beharrungsvermögen stetig wirken, die krumme Linie $amnopq$ die Bahn des geworfenen Körpers sein. In der Zeichnung ist die Wurfrichtung als senkrecht auf der Fallrichtung angenommen worden; es ist aber sehr einfach, die Wurflinie für jeden beliebigen Winkel der Wurf- und Fallrichtung durch Zeichnung zu bestimmen.

Die Wurflinie ist eine Parabel. Den Weg eines geworfenen Körpers nennt man eine Wurflinie oder eine Parabel. Sie gehört, wie die Ellipse, zu den Kegelschnitten (s. später), und man erhält sie, wenn man einen senkrechten Kegel parallel mit einer seiner Seitenlinien durchschneidet. Sie hat folgende, sich unmittelbar aus der Figur ergebende Eigenschaften.

Von Anfang der Bewegung an gerechnet, verhalten sich bekanntlich die Fallräume $ag : ah : ai : ak : al = 1 : 4 : 9 : 16 : 25$. Die Linien gm, hn, io, kp, lq hingegen verhalten sich offenbar wie $1 : 2 : 3 : 4 : 5$ zu einander, und die Quadrate dieser Zahlen geben ein dem obigen gleiches Verhältnis. Nun heißt aber die Linie al, welche die Parabel halbirt (der Weg eines geworfenen Körpers ist nur ein Theil derselben), die Achse derselben), die auf dieser senkrechten Linien gm, hn, oi . ., welche die Entfernung der Punkte m, n, o . . des Schenkels der Parabel von der Achse messen, die Ordinaten, und die Entfernungen des Fußpunktes der Ordinaten vom Scheitel a, also die Linien ag, ah, ai . ., die Abcissen der Parabel. Nach dem Obigen gilt also als eine der Eigenschaften der Parabel, daß sich die Abcissen wie die Quadrate der Ordinaten verhalten.

Wenn eine Kugel aus einem Geschütz geschossen wird, so ist der Weg eine Parabel, die je nach der Kraft des Pulvers, welche den Stoß repräsentirt, mehr oder weniger geöffnet ist. Wegen des Widerstandes aber, den die Luft der Kugel bereitet, weicht die Bahn einer geschossenen Kugel etwas von der strengen parabolischen Form ab.

Drittes Kapitel.

Von der Centralbewegung.

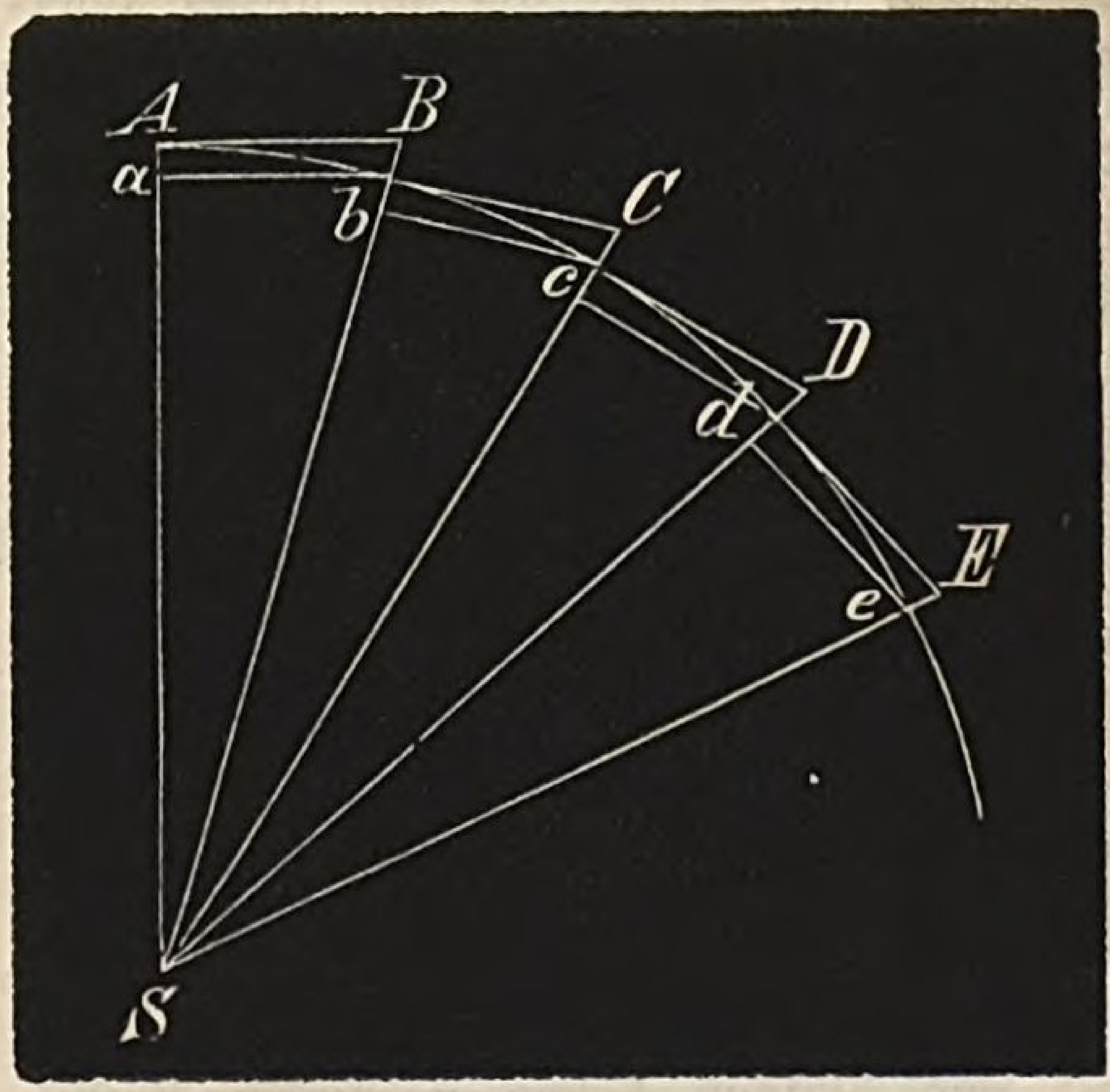
Bei der Bewegung eines frei fallenden Körpers, bei dem Pendel und der Wurfbewegung konnten wir die Richtung der auf den bewegten Körper wirkenden Schwerkraft als stets nach derselben Richtung erfolgend betrachten. Dies ist nicht mehr der Fall, wenn es sich um die Bewegung eines Körpers um einen andern als Centralkörper handelt, wie dies z. B. bei der Bewegung des Mondes um die Erde, der Planeten um die Sonne etc. geschieht; denn in

diesem Falle wirkt die von dem Centralkörper ausgehende Anziehungskraft nach den verschiedensten Richtungen, und dies muß einen Einfluß auf die Gestalt der Bahn ausüben. Man nennt übrigens solche Bewegungen Centralbewegungen, und wir wollen zunächst sehen, auf welche Weise sich bei denselben geschlossene Bahnen um den Centralkörper bilden können.

1. **Entstehung einer krummlinigen, geschlossenen Bahn.** Wie wir bei der Wurfbewegung einen seitlichen Stoß angenommen haben, müssen wir auch bei den Centralbewegungen, wie sie bei den Himmelskörpern vorkommen, eine seitlich wirkende Kraft annehmen, welche diese Körper mit gleichmäßiger Geschwindigkeit in einer geraden Linie fortzugehen zwingt. Da diese Kraft stets in der Richtung der Tangente der krummlinigen Bahn wirkt, so pflegt man sie die Tangentialkraft zu nennen. Sie wirkt wie die schon oft genannte Schwungkraft; es ist aber nicht anzugeben, wodurch sie den Körpern mitgetheilt worden ist. Ein ihnen anfänglich mitgetheilter einmaliger Stoß würde dieselbe Wirkung auszuüben im stande gewesen sein.

Gesetzt, ein Körper in A, *Fig. 134,* werde durch die ihm anfänglich mitgetheilte gleichmäßig wirkende Tangentialkraft in einer gewissen Zeiteinheit von A nach B, in derselben Zeit aber in einer auf AB senkrechten Richtung von einem sogenannten Centralkörper in S von A nach a getrieben, und es sei $SB - SA$, d. i. $Bb, = Aa$: so würde er nach dem Parallelogramm der Kräfte die Diagonale Ab, da aber der Centralkörper in S stetig wirkt, in Wahrheit den Bogen Ab beschreiben, (wir nehmen hier die Zeiteinheit sehr klein an und betrachten darum $AabB$ als ein Parallelogramm), am Ende der ersten Zeiteinheit also in b sein. Da $Aa = Bb$ angenommen worden ist, so ist der Körper bei seiner Bewegung in gleicher Entfernung von S verblieben.

Fig. 134.

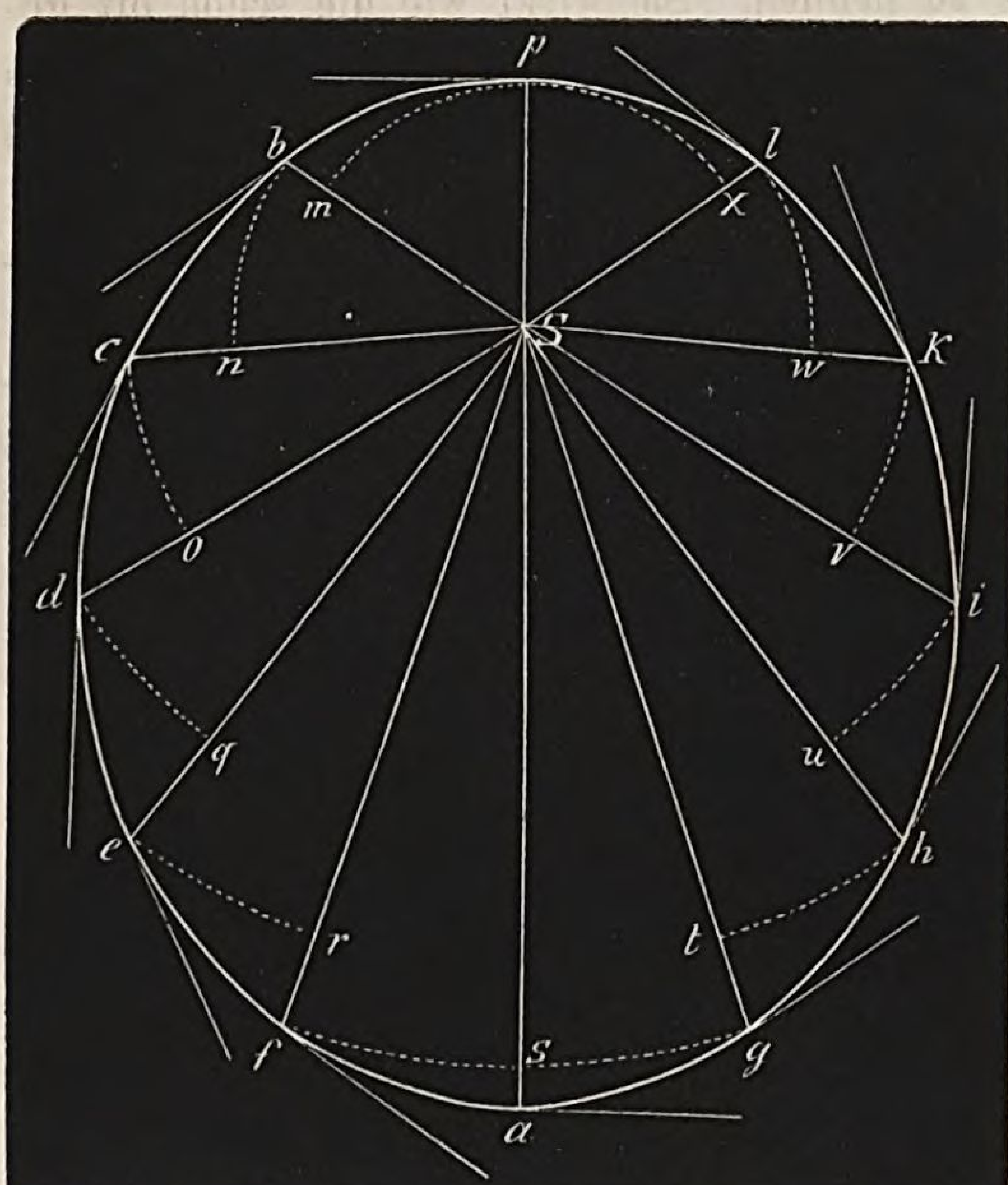


In b angekommen, würde ihn die Tangentialkraft nach C zu bewegen streben, der gleichzeitig wirkende Centralkörper aber nach c bringen. In derselben Weise würde er zu Ende der folgenden Zeiteinheiten nach d und e gelangen. Da nach unserer Annahme die Tangentialkraft den Körper stets um ein gleiches Stück vom Centralkörper zu entfernen strebte, um welches dieser ihn sich näherte, so kann die von dem Körper beschriebene Bahn keine andre Curve als ein Kreis sein; denn Tangential- und Schwerkraft hielten sich das Gleichgewicht.

Anders fällt die Form der Bahn aus, wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, oder aber die Richtung beider Kräfte auf einander nicht senkrecht ist.

Nähmen wir beide Kräfte auch fernerhin als senkrecht auf einander, aber *Bb* größer als *Aa* an, so würde dies offenbar eine Entfernung des Körpers von *S* zur Folge haben, und die Bahn könnte nun kein Kreis, sondern müßte, falls jener Unterschied beider Kräfte ein gewisses Maß nicht überschritte, eine Ellipse sein. Die Entfernung des Körpers vom Centralkörper wächst aber nicht bis ins Unendliche, sondern erfährt wegen des veränderlichen Winkels, unter welchem im Verlauf der Bewegung in einer Ellipse die Kräfte unter einander wirken, eine Grenze, nach deren Erreichung eben jener Winkel wieder eine Annäherung an den Centralkörper herbeiführt. Dies kann aus *Fig. 135* ersehen werden.

Fig. 135.



Wäre *S*, *Fig. 135*, die Sonne in dem einen Brennpunkte einer elliptischen Planetenbahn, so ist in dem Perihel *p* die Centrifugalkraft rechtwinklig zur Centripetalkraft. In diesem Punkte haben beide Kräfte ihren größten Werth; da aber, wie angenommen worden, die Centrifugalkraft die Centripetalkraft überwiegt, so muß eine Entfernung des Planeten von der Sonne eintreten. Diese nimmt in dem ersten Viertel der Bahn, von *p* bis *d*, sehr rasch zu, wie aus der Figur ersehen werden kann. So ist in dem Punkte *b* gegen *p* eine Zunahme von *mb*, in *c* gegen *b* von *nc*, und in *d* gegen *c* von *od* vorhanden. Die Zunahme ist aber nicht gleichmäßig eingetreten, sondern stets in dem durch *S* parallel mit der kleinen Achse gehenden Radius Vector am bedeutendsten. In den Endpunkten der kleinen Achse erfolgt sie am langsamsten. Dabei aber ward der rechte Winkel, unter dem die Centrifugal- und die Centripetalkraft in *p* wirkten, in *b*, *c*, *d* allmählich stumpfer und stumpfer, wie die Figur erkennen läßt. Ginge das so fort, so würde die nothwendige Folge die gänzliche Entfernung des Planeten aus dem Bereich der Sonne in gerader Linie sein. Allein dazu läßt es die stetig wirkende Kraft der Sonne nicht kommen. Schon auf dem Wege des Planeten von *p* nach *d* ward die Centrifugalkraft allmählich vermindert und ihr so endlich die Herrschaft genommen. Dies kann man an den nach dem Durchgange des Planeten durch *d* im zweiten Viertel der Bahn kleiner und kleiner werdenden stumpfen

Winkeln in *e*, *f* und *a* sehen, unter denen die beiden bekannten Kräfte zu einander wirken. In *a*, im Aphelio, ist dieser Winkel bereits wieder ein rechter. Den gesteigerten Einfluß der Sonne aber kann man an der von *d* bis *a* immer langsamer erfolgenden Zunahme der Entfernung des Planeten von der Sonne erkennen; man vergleiche nur die immer kleiner werdenden Größen *qe*, *rf*, *sa* mit einander.

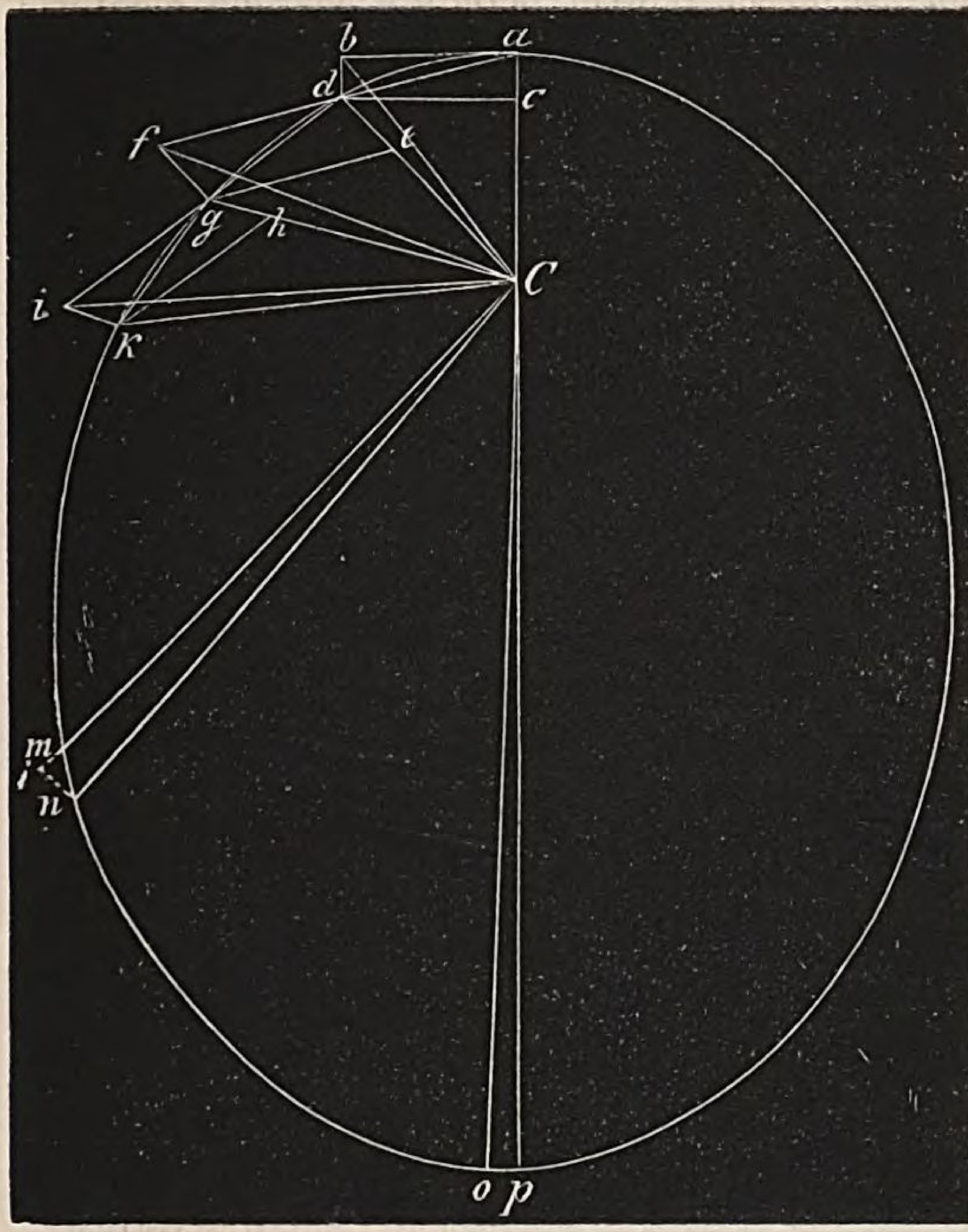
In dem dritten Viertel der Bahn, von *a* bis *i*, wächst der Einfluß der Sonne stetig, wie sich aus der Vergleichung der die Verminderung des Sonnenabstandes messenden Linien *as*, *gt* und *hu* ergiebt; denn die Wirkung der Sonne wird durch die unter immer spitzeren Winkeln mit ihr wirkende Centrifugalkraft verstärkt. Ginge die Verkleinerung der Winkel stetig fort, so müßte der Planet sich endlich in die Sonne stürzen. Dies wird aber durch die von *a* bis *i* gesteigerte Geschwindigkeit und die dadurch über die Kraft der Sonne hinauswachsende Centrifugalkraft des Planeten verhindert. Zwar nähert sich dieser von *i* bis zum Perihel *p* noch der Sonne, aber, wie die Vergleichung der Linien *iv*, *kw*, *lx* zeigt, nicht mehr wie von *a* bis *i* in zu-, sondern in schon abnehmenden Progressionen, indem die Centrifugalkraft, welche nun die Anziehungskraft der Sonne überflügelt hat, in immer größer werdenden Winkeln derselben entgegenwirkt, bis dieser Winkel im Perihel *p* wieder ein rechter ist, und sich die Verhältnisse in angegebener Weise wiederholen. — Vom Perihel bis zum Aphel ist es also nach dem Gesagten die Anziehungskraft der Sonne, welche den Planeten hindert, sich ganz aus dem Bereiche der Sonne zu entfernen, vom Aphel bis zum Perihel hingegen die wachsende Centrifugalkraft, welche den Sturz des Planeten in die Sonne verhütet. Auf diese Weise halten sich also beide Kräfte gegenseitig im Zaum. Gleichsam friedlicher geht die Bewegung in einem Kreise vor sich.

2. **Genauere Betrachtung der elliptischen Bewegung, Gesetze derselben.** Gesetzt, ein Körper in *a*, *Fig. 136*, würde in einer gewissen Zeiteinheit von *a* nach *b* getrieben, zugleich würde derselbe so von dem Centralkörper in *C* angezogen, daß er, wenn er dem Zuge folgte, von *a* nach *c* geführt würde. Nach dem Parallelogramm der Kräfte muß der Körper in der Diagonale des aus *ab* und *ac* construirten Parallelogramms, durch *ad*, gehen und am Ende des Zeittheils in *d* sein. Hörte hier die Centralkraft auf zu wirken, so würde er nach dem Beharrungsvermögen in der nächsten Zeiteinheit einen *ad* gleichen Weg, *df*, zurücklegen; da ihn aber in derselben Zeit die Centralkraft von *d* nach *e* zieht, so schlägt er wieder den Mittelweg *dg* ein. In ähnlicher Weise läßt sich nachweisen, daß der Körper am Ende des dritten Zeittheils in *k* sein muß u. s. w. Auf diese Weise würde die Bahn des Körpers um den Centralkörper ein Vieleck bilden; bedenken wir aber, daß die Centralkraft stetig wirkt, so ist es erklärlich, warum die Bahn eine krumme Linie ist.

Durch genauere Betrachtung der nachstehenden *Fig. 136* lassen sich leicht einige bei der Centralbewegung giltige Gesetze entwickeln.

Zieht man nämlich von *C* aus die Linien *Cb*, *Cd*, *Cf*, *Cg*, *Ci* und *Ck*,

Fig. 136.



so entstehen mehrere Dreiecke von eigenthümlichen Eigenschaften. So ist $\triangle\, aCb = \triangle\, aCd$, da beide die gleiche Grundlinie aC und gleiche Höhe, $ab = cd$, haben. Ferner ist $\triangle\, aCd = \triangle\, dCf$ aus demselben Grunde; denn $ad = df$, und die Spitze C ist beiden Dreiecken gemeinschaftlich. $\triangle\, dCf$ ist aber auch $= \triangle\, dCg$ als ein $\triangle$ von gleicher Grundlinie und Höhe, und mithin ist auch $\triangle\, aCd = \triangle\, dCg$, und aus ähnlichen Gründen auch $= \triangle\, gCk$. Hieraus folgt, daß der vom Centralkörper zu dem sich bewegenden Körper hingezogene Strahl Ca, Cd, Cg etc. in gleichen Zeiten gleiche Räume zurücklegt. Da aber ein solcher Strahl ein Radius Vector (fahrender Strahl) heißt, so gilt als:

Erstes Gesetz: Der Radius Vector durchläuft in gleichen Zeiten gleiche Räume; es ist dies das bekannte 2. *Kepler*sche Gesetz, das bei jeder Centralbewegung giltig ist. Aus diesem Satze folgt auch umgekehrt: Sind bei einer Bewegung die von dem Radius Vector in gleichen Zeiten durchlaufenen Räume einander gleich, so ist die die Bewegung veranlassende Kraft eine Centralkraft. Es muß darum die dem 2. *Kepler*schen Gesetze gehorchende Bewegung der Planeten in der Sonne ihre Ursache haben.

Aus dem obigen Gesetze folgen einfach noch einige andere Gesetze in Beziehung auf die Geschwindigkeit des sich bewegenden Körpers. Ist die durchlaufene Bahn ein Kreis, so muß der betreffende Körper, was unmittelbar klar ist, in jedem Punkte der Bahn eine gleiche Geschwindigkeit besitzen, und ist umgekehrt bei einer Centralbewegung die Bahngeschwindigkeit in allen Theilen der Bahn eine gleiche, so ist die Bahn ein Kreis.

Ist dagegen die Bahn eine Ellipse, so muß wegen veränderlicher Entfernung des Centralkörpers die Geschwindigkeit eine ungleichmäßige, in der einen Hälfte der Bahn eine beschleunigte, in der andern Hälfte eine verzögerte sein.

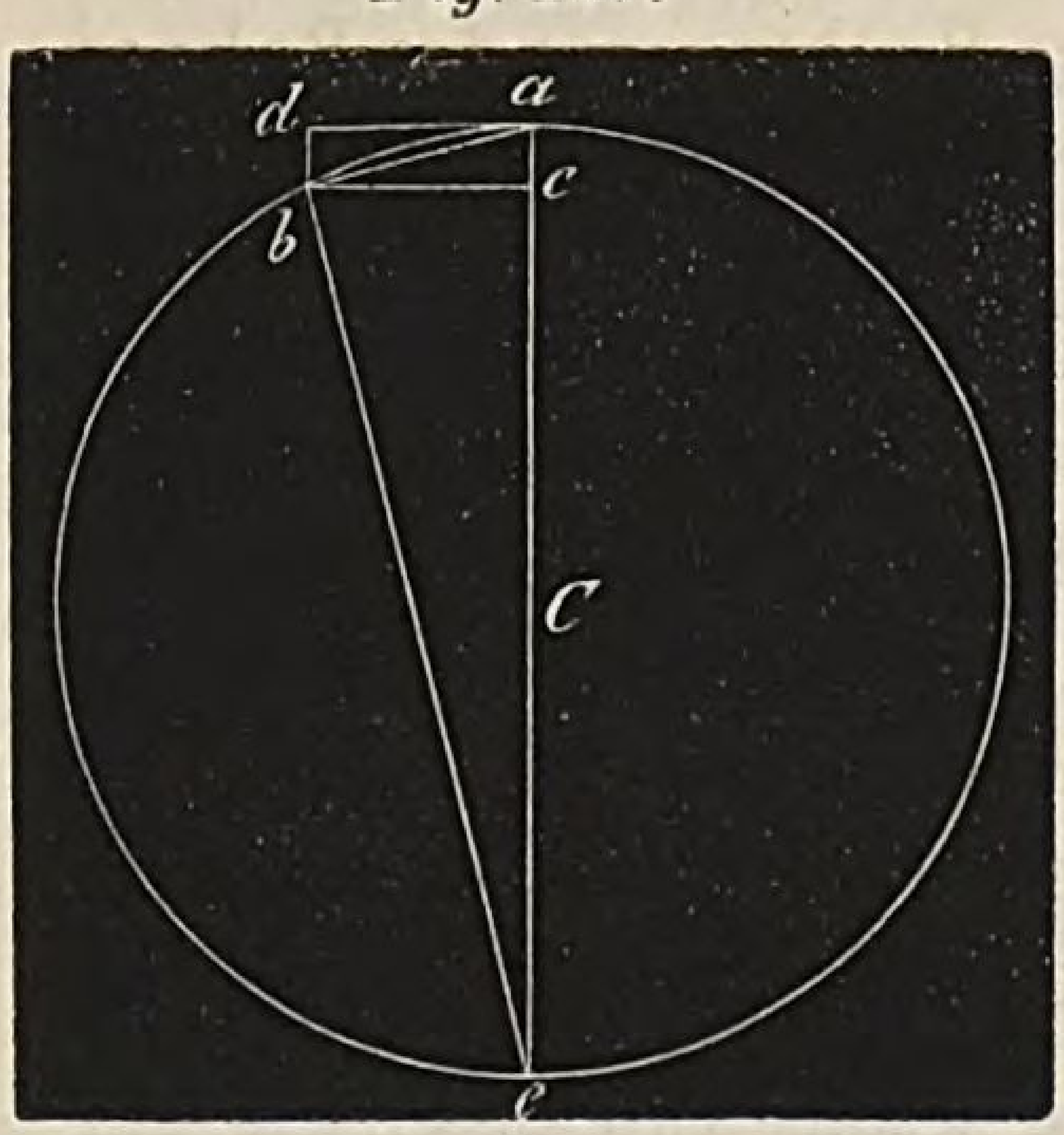
Zweites Gesetz. Aus dem obigen Gesetze läßt sich leicht das Verhältnis der Geschwindigkeiten in den verschiedenen Punkten der Bahn ableiten. Es seien in

Fig. 136 die Bogen mn und op die Wege, welche von einem in der dargestellten Ellipse einhergehenden Körper in den Punkten m und o während derselben möglichst kleinen Zeiteinheit durchlaufen werden, die also als das Maß der Geschwindigkeiten in den genannten Punkten angesehen werden können. Nach dem vorigen Gesetze sind die von den Bogen mn und op begrenzten Dreiecke Cmn und Cop dem Inhalte nach einander gleich. Die Höhe des ersten Dreiecks mißt das von n aus auf die Verlängerung von Cm gefällte Loth ni, d. i. der Sinus des Winkels mCn, die Höhe des zweiten Dreiecks das von p aus auf Co gefällte Loth, das in der Zeichnung mit dem Bogen op zusammenfällt. Da der Inhalt eines Dreiecks gleich der Hälfte des Produktes der Grundlinie mit der Höhe ist, so ist $\frac{ni \,.\, Cm}{2} = \frac{op \,.\, Co}{2}$, folglich auch $ni \,.\, Cm = op \,.\, Co$. Dividirt man beide Ausdrücke mit $Cm \,.\, op$, so erhält man $\frac{ni}{op} = \frac{Co}{Cm}$. Es verhält sich demnach $ni : op = Co : Cm$. Da nun ni und op die Sinus der Winkel mCn und oCp sind, diese aber wegen der angenommenen Kleinheit der Zeiteinheiten als den Bogen mn und op gleichgesetzt werden können, so kann als Gesetz ausgesprochen werden: Die Sinus der Geschwindigkeiten in verschiedenen Punkten der Bahn verhalten sich umgekehrt wie die diesen Punkten zugehörenden Radien Vectoren.

3. **Noch einige andere Gesetze der Centralbewegung.** Auf einfache Weise lassen sich noch einige andere Gesetze der Centralbewegung entwickeln.

Es möge in *Fig. 137* die Linie ac die Kraft bedeuten, mit welcher in einer kleinen Zeiteinheit ein materieller Punkt in a von einem Centralkörper in C angezogen wird, und k bezeichne allgemein diese Kraft. Der materielle Punkt werde außerdem durch einen Stoß, rechtwinklig auf aC, in derselben Zeit von a nach d getrieben, so geht er in der Diagonale ab des aus den Kräften construirten Parallelogramms. Zieht man die Linien ae und be, so erhält man unter andern zwei rechtwinklige Dreiecke: $\triangle\ abe$ und $\triangle\ acb$ (Winkel abe ein rechter als Winkel im Halbkreise). Diese beiden Dreiecke sind einander ähnlich, weil sie drei gleiche Winkel haben; darum verhält sich:

Fig. 137.



$$ac : ab = ab : ae$$

folglich ist: $ac \,.\, ae = ab^2$

daraus folgt: $ac = \frac{ab^2}{ae}$

mithin auch $k = \frac{ab^2}{ae}$.

Der Bogen ab ist der Weg, den der Körper in der Zeiteinheit durchläuft; bezeichnet nun t allgemein die in denselben Zeiteinheiten ausgedrückte Umlaufszeit des Körpers, so läßt sich ab als Bogen eines Kreises mit dem Radius r durch $\frac{2r \,.\, \pi}{t}$ ausdrücken; ae aber ist $= 2r$. — Setzt man diese beiden Werthe von ab und ae in die vorige Gleichung für k, so erhält man: $k = \frac{4r^2 \,.\, \pi^2}{t^2 \,.\, 2r}$, was, durch $2r$ dividirt, $k = \frac{2r \,.\, \pi^2}{t^2}$ ergiebt.

Ist in einem zweiten Falle R der Radius des in der Zeit T durchlaufenen Kreises, und bezeichnet K die Centralkraft, so ist nach dem Obigen: $K = \frac{2R.\pi^2}{T^2}$.

Es verhält sich darum $k:K = \frac{2r.\pi^2}{t^2} : \frac{2R.\pi^2}{T^2}$, folglich auch, durch 2 und π^2 dividirt, $k:K = \frac{r}{t^2} : \frac{R}{T^2}$.

Zwei Brüche aber stehen im geraden Verhältnis ihrer Zähler und im umgekehrten Verhältnis ihrer Nenner. Die Zähler der obigen Brüche $\frac{r}{t^2}$ und $\frac{R}{T^2}$ sind die Halbmesser der beschriebenen Kreise und die Nenner die Quadrate der Umlaufszeiten; man kann deshalb aussprechen als:

Drittes Gesetz. Die Centralkräfte verhalten sich wie die Halbmesser der beschriebenen Kreise und umgekehrt wie die Quadrate der Umlaufszeiten.

Mit Hilfe dieses Satzes läßt sich das 3. *Kepler*sche Gesetz entwickeln. Wenn z. B. zwei Planeten in den Entfernungen r und R in den Zeiten t und T die Sonne umkreisen, und die Centralkräfte c und C heißen, so ist nach dem Obigen:

$$c = \frac{2r.\pi^2}{t^2} \text{ und } C = \frac{2R.\pi^2}{T^2}.$$

Da aber die Anziehung in dem umgekehrten Verhältnisse mit den Quadratzahlen der Entfernung steht, sich also $c : C = R^2 : r^2$ verhält, so folgt, indem man für c und C die obigen Werthe setzt: $\frac{2r.\pi^2}{t^2} : \frac{2R.\pi^2}{T^2} = R^2 : r^2$.

Dividirt man das erste Verhältnis mit 2 und π^2, so ergiebt sich:

$$\frac{r}{t^2} : \frac{R}{T^2} = R^2 : r^2$$

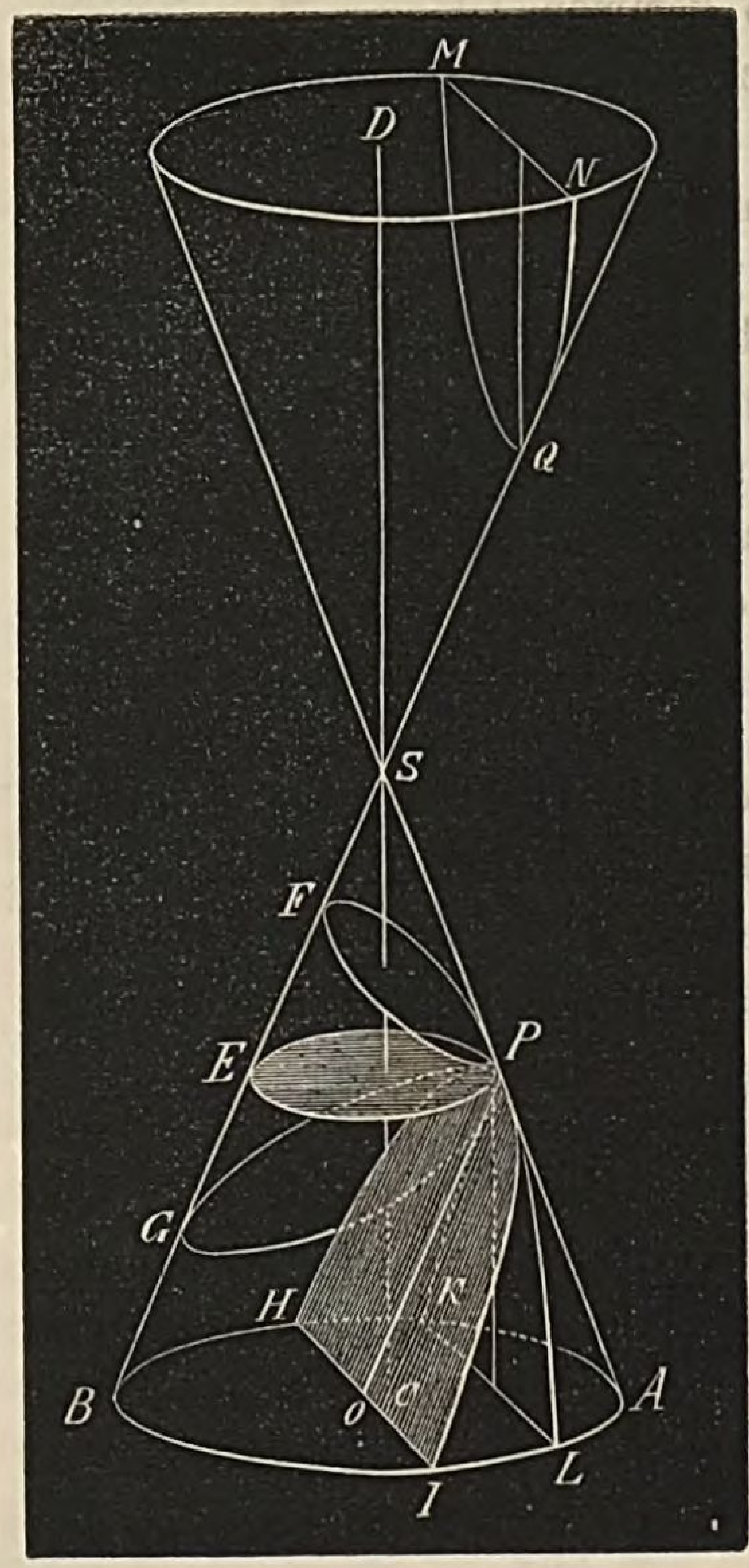
woraus schließlich durch eine einfache Umgestaltung $t^2 : T^2 = r^3 : R^3$ folgt. Drückt man dies in Worten aus, so haben wir:

Viertes Gesetz. Die Quadratzahlen der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kubikzahlen der Halbmesser der Bahnen. Dies ist aber das 3. *Kepler*sche Gesetz, das sich also unschwer aus der Centralbewegung herleiten läßt.

4. **Einiges von den Kegelschnitten.** Bei der vorstehenden Entwicklung einiger bei Centralbewegungen giltigen Gesetze nahmen wir als Formen der Bahnen Kreise und Ellipsen an; wahrscheinlich gehen aber manche Himmelskörper noch in anderen Bahnen einher, und es dürfte hier der geeignetste Ort sein, über die Form derselben das Wesentlichste zu sagen. Die Bahnen der Himmelskörper sind im allgemeinen Kegelschnitte, d. h. Curven, die durch eigenthümliche Schnitte eines senkrechten oder geraden Kegels entstanden gedacht werden können.

1) Entstehung eines senkrechten Kegels. Wir wollen uns zuerst in Gedanken einen senkrechten Kegel entstehen lassen. Man denke sich einen Kreis und errichte in dem Mittelpunkte C desselben, *Fig. 138*, eine senkrechte Linie CS. Sodann denke man sich von dem Punkte S eine gerade Linie nach einem beliebigen Punkte der Peripherie des Kreises, vielleicht SA, gezogen,

Fig. 138.



und drehe dieselbe so lange um die Peripherie des Kreises herum, bis sie wieder in ihre erste Lage zurückkehrt; so ist ein mathematischer Körper entstanden, den man einen senkrechten oder geraden Kegel nennt. Den Punkt S nennt man den Scheitel, die Ebene des Kreises C die Grundfläche, die durch Bewegung der Linie SA entstandene krumme Fläche den Mantel, und die Linie SA, sowie jede ähnliche Linie, die Seitenlinie des Kegels. Verlängert man sich die Seitenlinie SA über S hinaus, so beschreibt sie in ihrer Verlängerung, in derselben Weise wie vorhin bewegt, den Mantel eines zweiten Kegels, der dem ersten den Scheitel zukehrt, und man erhält auf diese Weise einen Doppelkegel, wie ihn *Fig. 138* zeigt, dessen Achse die Linie CSD ist.

2) Die verschiedenen Kegelschnitte. Jetzt wollen wir uns den unteren Kegel durch eine auf der Fläche des Papiers senkrechte Ebene geschnitten denken, und zwar zuerst in einer der Grundfläche AB parallelen Richtung PE. Man sieht leicht ein, daß die Schnittfläche PE, wie die Grundfläche, ein Kreis sein muß. Schneidet man aber den Kegel parallel mit einer Seitenlinie, so daß also z. B. OP parallel SB ist, so entsteht eine eigenthümliche Curve HPI, die man eine Parabel nennt. Punkt P ist der Scheitel und die Linie PO die Achse der Parabel. Die Haupteigenschaft dieser krummen Linie haben wir bereits bei der Wurfbewegung (S. 538) kennen gelernt. Aus der Figur ist unschwer zu erkennen, daß der Schnitt, welcher die Parabel giebt, niemals die Seitenlinie SB treffen kann, weil eben PO parallel SB ist. Die Parabel ist darum eine Curve mit zwei Schenkeln, die sich niemals schneiden.

Geht aber die Schnittfläche nicht mit der Seitenlinie SB parallel, so muß sie, falls der Schnitt nach der linken Seite von der Parabel HPI hingeführt wird, innerhalb des Winkels EPO die Seitenlinie treffen. Es entstehen in diesem Falle Curven, wie PG, welche man Ellipsen nennt. Diese Ellipsen sind um so excentrischer, je näher sie der Parabel liegen, und sie werden um so mehr zum Kreise, je mehr sie sich dem Parallelismus mit der Grundfläche des Kegels nähern. Im Falle des Parallelismus werden sie, wie in PE, zu einem Kreise, der also als eine Ellipse mit der Excentricität Null angesehen werden kann. Indessen auch auf der oberen Seite von PE sind noch viele Ellipsen

möglich; diese werden wieder um so excentrischer, je weiter sie sich von *PE* entfernen oder je näher sie der Seitenlinie *PS* kommen.

Kehren wir jetzt wieder zur Parabel zurück, so kann der Schnitt auch nach der Rechten von derselben abweichen, indem er sich durch den Winkelraum *OPA* bewegt. Hier ist der Schnitt ebenfalls nicht parallel der Seitenlinie, und die entstehenden Curven, z. B. *KPL*, heißen Hyperbeln. Ihre Schenkel treten um so näher aneinander, je mehr sich der Schnitt der Seitenlinie *PA* nähert. Nach dem Gesagten aber könnte es scheinen, als seien Parabeln und Hyperbeln wenig verschieden, und doch unterscheiden sie sich nicht unwesentlich von einander, wie wir gleich sehen werden. Ein Schnitt, welcher eine Hyperbel giebt, schneidet nämlich zugleich auch den oberen Kegel, was weder bei der Parabel, noch bei der Ellipse der Fall ist. Dadurch entsteht in dem oberen Kegel noch eine ähnliche Curve, so daß eine Hyperbel stets aus je zwei zusammengehörigen Curven besteht, wie z. B. in der Figur die Curven *KPL* und *MQN* zusammengehören, die einander die Scheitel zukehren.

Aus allem Bisherigen ergiebt sich, daß Kreise und Parabeln nur bei einer ganz bestimmten Lage der Schnittfläche des Kegels, dagegen Ellipsen und Hyperbeln in vielen Fällen entstehen können.

3) Anwendung auf die Himmelskörper. Wir wissen bereits, daß bei jeder Centralbewegung zwei Kräfte thätig sind, eine Centralkraft und eine Centrifugalkraft. Für die Planeten hat erstere Kraft ihren Sitz im Mittelpunkt der Sonne, und als die Ursache der letzteren Kraft kann ein primitiver Stoß (eine Tangentialkraft) angenommen werden, der die Planeten seitlich von der Sonne zu entfernen vermochte.

Sehen wir für einen Augenblick von dieser Stoßkraft ab, so ist klar, daß ein allein von der Sonne angezogener Himmelskörper in gerader Linie mit beschleunigter Bewegung zur Sonne fallen muß. Empfinge er aber zu Anfang seines Falles einen ganz unbedeutenden seitlichen Stoß, so würde er die Sonne in einer sehr länglichen Ellipse umkreisen; diese Ellipse aber muß sich um so mehr dem Kreise nähern, je kräftiger jener erste Stoß wird, und bei einer ganz bestimmten Stärke des Stoßes, bei welcher Anziehungskraft und Centrifugalkraft, letztere die Fortwirkung jenes Stoßes, einander genau das Gleichgewicht halten, muß die Bahn zu einem Kreise werden. Aber auch noch bei Verstärkung des Stoßes über dieses Maß hinaus können Ellipsen entstehen, indessen nur so lange, als die Stärke des Stoßes ein ganz bestimmtes Maß nicht überschreitet; denn ist dieses Maß eingetreten, so wird, aber auch nur in diesem Falle, die Bahn zu einer Parabel. Bei nun noch gesteigerter Stoßkraft würde die Bahn eine Hyperbel werden, deren Entstehung aber, wie wir gesehen haben, nicht an eine einzige Bedingung geknüpft ist. Wir gingen jetzt die verschiedenen Fälle mit Beziehung auf *Fig. 138* durch und begannen mit dem Falle, daß der Schnitt mit der Seitenlinie *PS* zusammenfiel. Von hier gingen wir durch gedachte Steigerung der Stoßkraft zum Kreise *PE*, und schritten dann zur Parabel und endlich zur Hyperbel vor.

4) Wann die Bahn ein Kreis, eine Ellipse etc. wird. Hätte unsere Erde, nachdem sie zur Sonne in ein Abhängigkeits-Verhältnis getreten war, ihre Bewegung um die Sonne im Perihel begonnen und hier einen Stoß rechtwinklig auf die Richtung zur Sonne empfangen, der sie in jeder Sekunde durch einen Weg von 4,15 geogr. Mln. getrieben hätte, so wäre die Bahn ein Kreis geworden. Die Geschwindigkeit der Erde im Perihel beträgt aber 4,19 Mln., und wenn wir annehmen, daß dies auch die Wirkung eines primitiven Stoßes sei, so mußte die Erdbahn eine Ellipse von unbedeutender Excentricität werden. Sie ist eine Ellipse, die, wenn wir uns wieder auf *Fig. 138* beziehen, unter dem Kreise *PE* liegt. Hätte jene Stoßkraft im Perihel 5,87 geogr. Meilen betragen, so wäre die Erdbahn eine Parabel geworden, und die Erde wäre nie zur Sonne zurückgekehrt. Dasselbe wäre geschehen, wenn jener anfängliche Stoß sie durch mehr denn 5,87 geogr. Mln. getrieben hätte; sie würde dann eine hyperbolische Bahn durchwandern. So läßt sich für jeden Planeten berechnen, wie stark der primitive Stoß hätte sein müssen, damit seine Bahn ein Kreis, oder eine Parabel geworden; es ist aber leicht einzusehen, daß auf diese Größe die Stärke der mit den Quadraten der Entfernung abnehmenden Anziehungskraft von Einfluß sein muß. Je stärker die Anziehungskraft ist, desto größer kann im allgemeinen auch jener Stoß sein. So würde Merkurs Bahn ein Kreis geworden sein, hätte ihn eine Stoßkraft im Perihel durch 7,43 geogr. Mln. getrieben. Eine Parabel hätte entstehen müssen, hätte der Stoß 10,50 geogr. Mln. betragen. In Wirklichkeit ist aber Merkurs Geschwindigkeit im Perihel gleich 8,15 geogr. Mln. in 1 Sek.; seine Bahn mußte also eine ziemlich excentrische Ellipse werden.

Nach dem Gesagten ist es eigentlich nicht zu verwundern, daß die meisten Planeten und, wie es scheint, die meisten Himmelskörper überhaupt, in Ellipsen einhergehen; sie ist in der That die wahrscheinlichste Bahn. Kreise und Parabeln aber konnten nur selten entstehen, und haben sie überhaupt einmal bestanden, so genügte eine geringe Störung, sie in Ellipsen oder Hyperbeln zu verwandeln. Hyperbolische Bahnen dürften sich bei einigen Kometen finden.

Viertes Kapitel.

Von dem Schwerpunkte der Körper.

1. **Erfahrung.** Es ist eine bekannte Thatsache, daß man z. B. einen Stab so auf einen Finger legen kann, daß er nicht herabfällt, sondern in Ruhe bleibt, und selbst auf der scharfen Kante eines Messers läßt sich ein solcher Stab balanciren. Ebenso läßt sich eine Scheibe so auf eine Spitze legen, daß dieselbe im Gleichgewicht ist und nicht zur Erde fällt. Und bei jedem Körper

ist leichter oder schwerer ein Punkt zu finden, in welchem das ganze Gewicht des Körpers wirksam ist, und in dem man nur den Körper zu unterstützen hat, um ihn ins Gleichgewicht zu bringen. Es läßt sich diese Thatsache leicht erklären.

2. **Erklärung derselben.** Die Erde zieht nämlich alle Körper vermöge der Schwere nach ihrem Mittelpunkte. Streng genommen bilden also die Richtungen, in denen irgend zwei nicht in der Vertikale liegende Moleküle angezogen werden, einen Winkel mit einander, dessen Spitze im Erdmittelpunkte liegt. Wegen der großen Entfernung dieses Punktes von der Erdoberfläche indessen können die Richtungen der Schwere für alle Moleküle nicht sehr großer Körper als mit einander parallel angesehen werden. Nun besteht jeder Körper aus einer großen Zahl von Molekülen, und die Summe der Anziehungen aller Moleküle bildet das Gewicht des Körpers. Da aber alle Richtungen der Anziehung mit einander parallel sind, so muß es nothwendig eine Mittelrichtung geben, in welcher gleichsam alle Moleküle vereint mit dem ganzen Gewichte des Körpers wirken. In dieser Mittelrichtung aber existirt für jeden Körper ein Centrum der parallelen Kräfte, und dieses Centrum heißt der Schwerpunkt des Körpers. Eine durch den Schwerpunkt gelegte lothrechte Linie heißt die Schwerlinie oder die Richtungslinie der Schwere. Es ist leicht einzusehen, daß der Schwerpunkt meist im Innern des Körpers liegen wird. Bei einem horizontalen Ringe würde derselbe freilich in der Luft liegen. Unterstützt man einen Körper in dem Schwerpunkte selbst, oder (in der Schwerlinie) über oder unter demselben, so ist er im Gleichgewicht und darum in Ruhe. Auf den Unterstützungspunkt wirkt das ganze Gewicht des Körpers.

3. **Mittel, den Schwerpunkt eines Körpers zu finden.** Unterstützt man einen Körper über dem Schwerpunkt, hängt man ihn also auf, so sucht der Schwerpunkt stets die tiefste Stelle einzunehmen; dies ist aber nur dann der Fall, wenn er in der Verlängerung des Fadens, in der Vertikale liegt. Der Körper bewegt sich so lange, bis sein Schwerpunkt diese Lage eingenommen hat. Es ist darum nicht schwer, durch Versuche den Schwerpunkt eines Körpers zu bestimmen: man braucht ihn nur zweimal an verschiedenen Punkten seiner Oberfläche aufzuhängen; der Durchschnittspunkt des verlängert gedachten Fadens giebt stets den Schwerpunkt. Sehr oft läßt sich indessen, namentlich bei regelmäßigen Körpern, auch durch Rechnung oder Construction der Schwerpunkt bestimmen. Es kann hier unsere Absicht nicht sein, die Lehre vom Schwerpunkte erschöpfend behandeln zu wollen; wir beschränken uns hier auf das Wichtigste, soweit es namentlich bei den Himmelskörpern zur Anwendung kommt.

4. **Beispiele.** Denken wir uns zwei Körper von genau gleichem Gewichte, a und b, *Fig. 139*, durch eine gewichtlose gerade Linie ab verbunden, so ist unmittelbar klar, daß Gleichgewicht hergestellt sein wird, wenn man die Linie in dem Mittelpunkte c unterstützt. In diesem Punkte, dem Schwerpunkte,

Fig. 139.

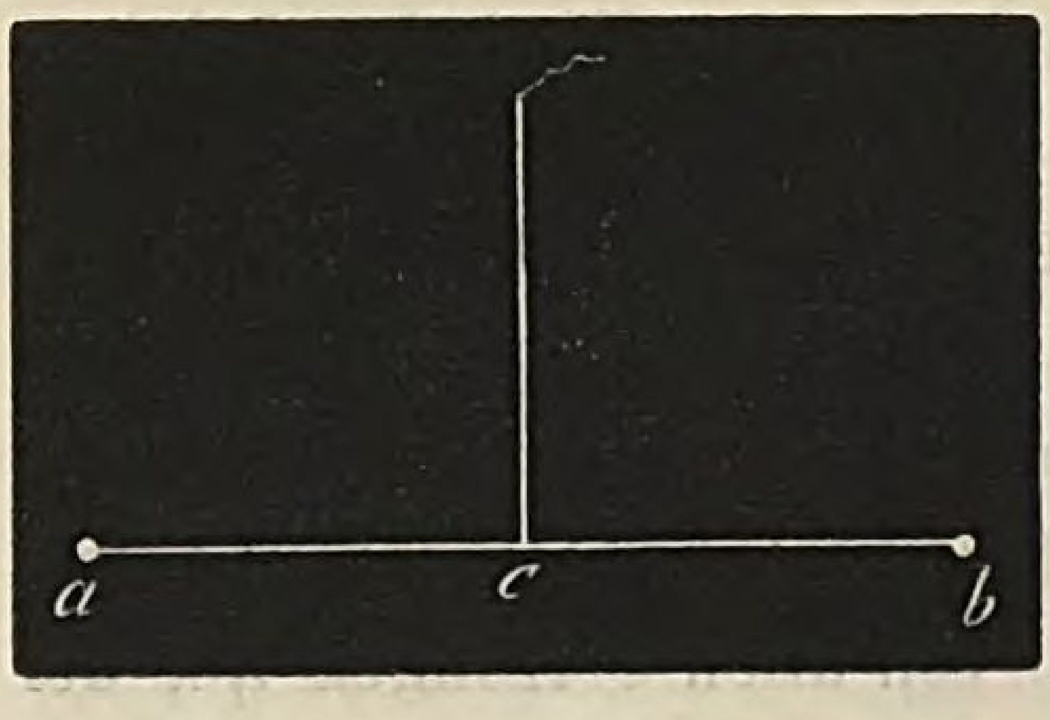
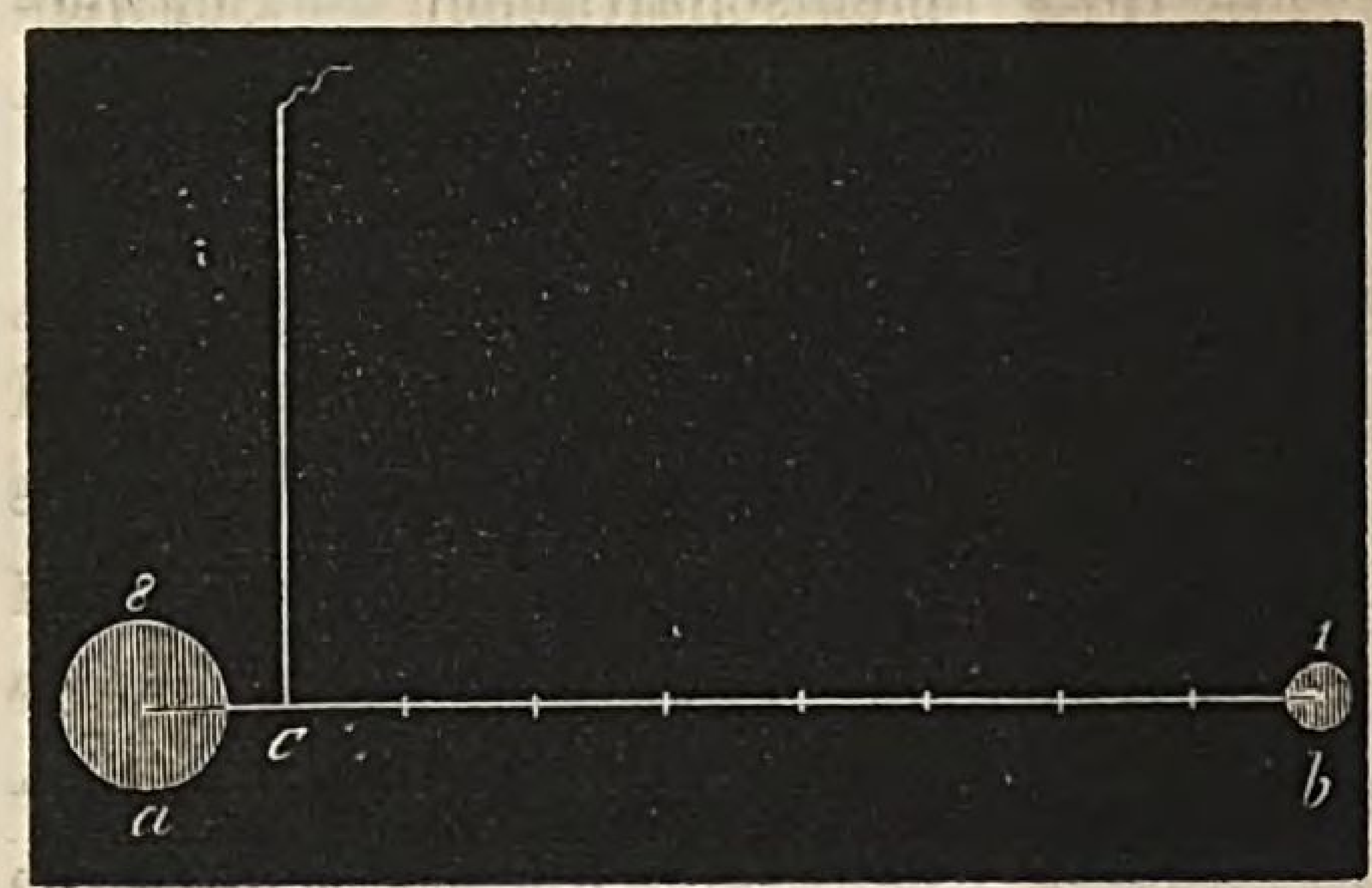


Fig. 140.

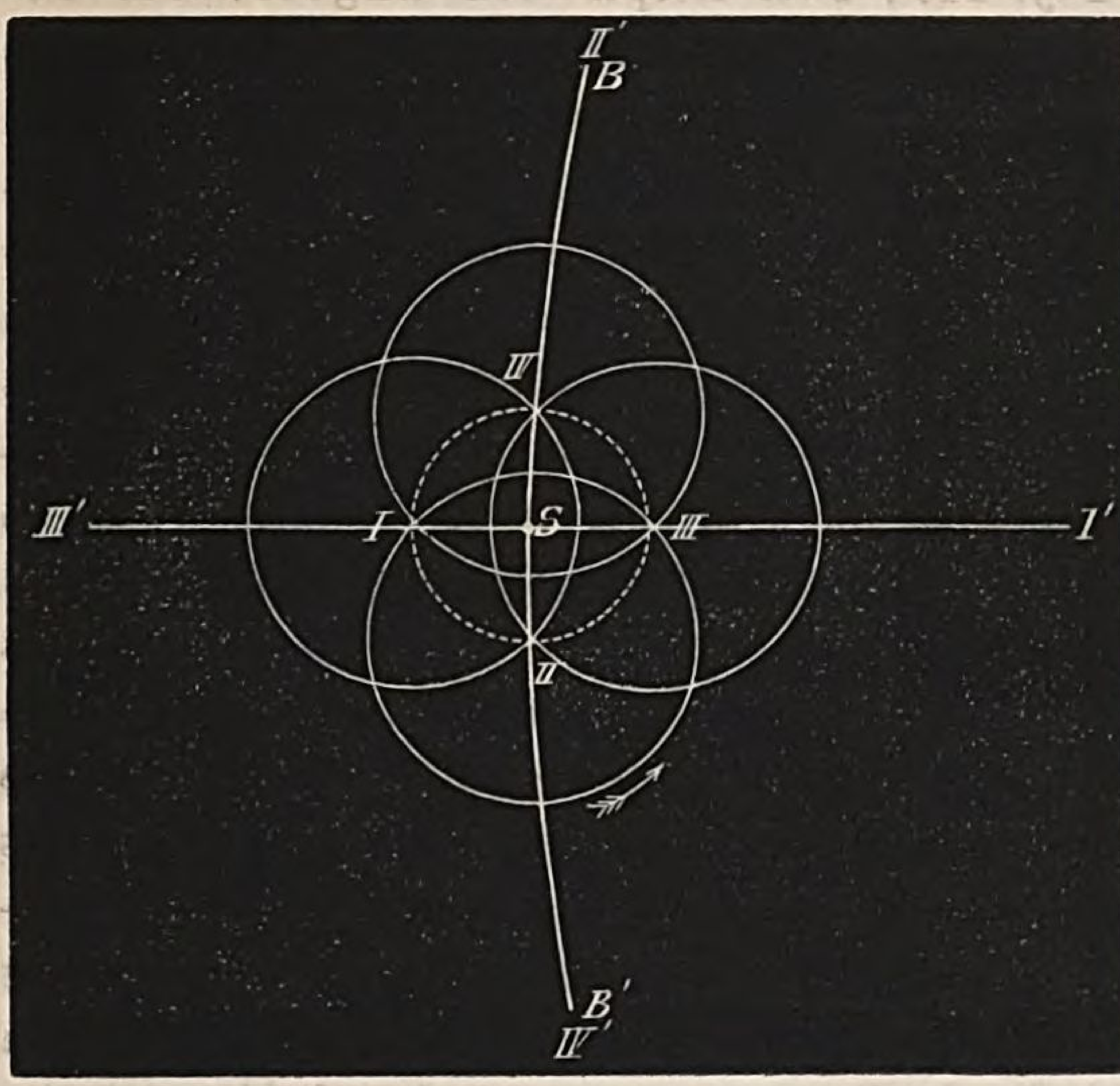


würde das Gewicht von *a* und *b* vereinigt wirksam sein. Das Gleichgewicht würde auch nicht gestört werden, wenn man, etwa durch einen Stoß, die Körper zwänge, sich um den Schwerpunkt *c* zu bewegen. Jeder Körper würde einen Kreis mit dem Halbmesser von $^1/_2$ *ab* beschreiben. Anders würde sich die Sache verhalten, wenn, *Fig. 140*, zwei Körper von ungleichem Gewichte durch eine gerade, gewichtlose Linie verbunden gedacht werden. Verhielte sich das Gewicht der beiden Körper *a* und *b* wie *8 : 1*, so ist es nach den Gesetzen des Hebels leicht, den Punkt zu bestimmen, in welchem eine Unterstützung Gleichgewicht hervorbringen würde. Es ist nämlich an einem (zweiarmigen) Hebel Gleichgewicht, wenn die Produkte aus den an beiden Enden des Hebels wirkenden Gewichten und der Entfernung dieser Gewichte vom Unterstützungspunkte (die statischen Momente) einander gleich sind. Da sich in unserm Ealle das Gewicht der Körper wie *8 : 1* verhält, so müssen sich die entsprechenden Entfernungen wie *1 : 8* verhalten, *c* also der Unterstützungspunkt und zugleich der gemeinsame Schwerpunkt der beiden Körper *a* und *b* sein. Setzte man nun diese beiden Körper in eine drehende Bewegung, so würden beide, wie im ersten Falle, auch Kreise, aber von sehr verschiedenem Halbmesser beschreiben. Diese Halbmesser, *ca* und *cb*, würden sich umgekehrt wie die Gewichte oder, was dasselbe ist, umgekehrt wie die Massen der beiden Körper verhalten.

5. **Anwendung auf Erde und Mond.** Dem Gesagten Aehnliches findet auch bei Himmelskörpern statt, die in einem Abhängigkeits-Verhältnisse zu einander stehen oder ein System bilden. Zwei solche Körper sind Erde und Mond; auch für sie beide giebt es einen gemeinsamen Schwerpunkt, und da das Massenverhältnis beider zu einander bekannt ist, so ist es nicht schwer, die Lage dieses Schwerpunktes zu bestimmen. Die Erde hat 79,667 mal so viel Masse als der Mond; darum muß sich nach dem Obigen die Entfernung des gemeinsamen Schwerpunktes beider von ihren Mittelpunkten wie 1 : 79,667 verhalten. Nehmen wir die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde, wie bisher, zu 51804,96 geogr. Mln. an, so ergeben sich als Abstand des gemeinsamen Schwerpunktes vom Erdmittelpunkte 650,2 geogr. Mln. Da der Erdhalbmesser = 860 geogr. Mln. ist, so fällt also der Schwerpunkt noch innerhalb der Erde. Es versteht sich von selbst, daß die veränderliche Entfernung des Mondes von der Erde einen Einfluß auf die Lage des Schwerpunktes ausübt, und zwar, daß er um so weiter vom Erdmittelpunkte sich entfernen muß,

je größer jene Entfernung ist, und umgekehrt. Zur Zeit der Erdferne, wenn der Mond 54607,13 geogr. Mln. von der Erde entfernt ist, liegt der Schwerpunkt 685,4 geogr. Mln., zur Zeit der Erdnähe, bei 49002,79 geogr. Mln. Entfernung, nur 615,1 geogr. Mln. vom Erdmittelpunkte ab. Diese verschiedenen Abstände vom Erdmittelpunkte nimmt der Schwerpunkt während eines synodischen Monats an; in dieser Zeit muß daher, sehen wir von der Bewegung der Erde um die Sonne und von allen Störungen ab, der Erdmittelpunkt um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt eine Ellipse beschreiben, deren große Achse c. 1300 geogr. Mln. beträgt, und die im Kleinen das Bild der Mondbahn ist. Diese Ellipse soll in *Fig. 141* durch die punktirte Curve dargestellt werden; außerdem zeigt die Figur die Erde in vier verschiedenen Stellungen *I*, *II*, *III*, *IV*, wenn der Mond resp. in der Richtung *I—I'*, *II—II'*, *III—III'*, *IV—IV'* von der Erde steht.

Fig. 141.



Indem sich die Erde mit dem Monde um die Sonne dreht, beschreibt nicht der Mittelpunkt der Erde, wie bisher angenommen wurde, sondern der Erde und Mond gemeinschaftliche Schwerpunkt die elliptische Bahn, von der die Curve *BB'* einen Theil darstellen soll. Der Erdmittelpunkt ist während der einen Hälfte des synodischen Monats innerhalb, während der andern Hälfte außerhalb dieser Bahn, und beschreibt zu beiden Seiten derselben eine ähnliche, nur weit flachere Curve, als wir sie S. 214 bei dem Monde kennen gelernt haben. Durch diese eigenthümliche Bewegung des Erdmittelpunktes wird der Erdort, und da durch diesen der scheinbare Ort der Sonne bedingt wird, auch dieser nicht ganz unmerklich berührt, und wo es sich um genaue Bestimmung des geocentrischen Ortes der Sonne oder des heliocentrischen der Erde handelt, muß auf die Bewegung der Erde um den gemeinsamen Schwerpunkt von Erde und Mond Rücksicht genommen werden. Steht beim Neumond der Schwerpunkt *S* zwischen der Sonne, die nach der Richtung *I'* zu denken ist, und dem Erdmittelpunkte *I*, dieser also außerhalb der eigentlichen Erdbahn, und befindet sich andererseits beim Vollmonde der Erdmittelpunkt *III* zwischen der Sonne und dem Schwerpunkte *S*, jener also innerhalb der Erdbahn: so hat der Erdmittelpunkt mit dem Schwerpunkte gleiche heliocentrische Länge; denn beide

liegen in der den Sonnen- und Erdmittelpunkt verbindenden geraden Linie. Beim ersten Viertel hingegen, wenn der Mond in der Richtung nach *II'*, der Erdmittelpunkt in *II* steht, ist dieser dem Schwerpunkte voraus, seine heliocentrische Länge also größer als die des Schwerpunktes *S*. Das Entgegengesetzte findet zur Zeit des letzten Viertels statt, wenn der Mond nach der Richtung *IV'* steht. Es ist dann der Erdmittelpunkt in *IV* hinter dem Schwerpunkte *S* zurück, des ersteren heliocentrische Länge also kleiner als die des letzteren.

6. **Anwendung auf die von mehreren Monden umkreiseten Planeten.** Was zwischen Erde und Mond stattfindet, muß in complicirterem Maße bei allen Planeten, die von Monden umkreiset sind, eintreten. Nicht der Mittelpunkt des Hauptplaneten beschreibt die eigentliche Planetenbahn, sondern der gemeinschaftliche Schwerpunkt des Partialsystems. Wie man den Schwerpunkt zwischen zwei Körpern findet, haben wir oben gelernt; es ist aber auch möglich, zwischen mehr als zwei Körpern den gemeinsamen Schwerpunkt zu ermitteln. Man bestimmt ihn nämlich zuerst zwischen zwei Körpern, dann zwischen diesem Schwerpunkt, in welchem die Masse beider Körper vereinigt zu denken ist, und dem dritten Körper, darauf zwischen diesem neuen Schwerpunkt und dem vierten Körper u. s. w. Da aber die den Planeten umkreisenden Monde fortwährend neue Stellungen einnehmen, so wird dadurch auch die Lage des Schwerpunktes fortwährend modificirt und dadurch die Sache sehr complicirt.

7. **Anwendung auf das ganze Planetensystem.** Wenn ferner früher gelehrt worden, die Planeten bewegten sich um die Sonne, so ist dies auch nicht genau richtig; es bewegen sich vielmehr alle Planeten nur um den gemeinsamen Schwerpunkt des ganzen Systems. Wirkte die Erde allein auf die Sonne, so würde sie die Lage des Sonnenmittelpunktes nur um etwa 60 geogr. Mln. zu verrücken vermögen. Der Sonnenmittelpunkt würde dann in Jahresfrist um den Schwerpunkt von Sonne und Erde eine der Erdbahn ähnliche Ellipse beschreiben, deren große Achse eine Länge von c. 120 Mln. hätte. Allein der jedesmalige Schwerpunkt des Planetensystems ist das Produkt der Wirkung aller Glieder des Systems, und da diese sich fortwährend anders um die Sonne gruppiren, so ist seine Lage beständigen Schwankungen unterworfen. Gewöhnlich liegt er innerhalb der Sonnenkugel, und nur wenn die großen Planeten, namentlich Jupiter und Saturn, sich auf derselben Seite von der Sonne befinden, rückt er aus dem Sonnenkörper, jedoch nie sehr bedeutend, heraus.

Auch bei den Doppel- und mehrfachen Sternen ist die Bewegung der einzelnen Sterne eine Bewegung um den Schwerpunkt des Sternsystems. Sind bei Doppelsternen beide Sterne etwa von gleicher Masse, so beschreiben beide um den Schwerpunkt fast gleich große Bahnen. Ueberwiegt hingegen ein Stern bedeutend den andern an Masse, so stellt sich die an ihnen beobachtete Bewegung mehr als eine Bewegung des kleineren Sternes um den großen dar.

Fünftes Kapitel.

Die Entdeckung der Gravitationsgesetze durch Newton.

Lieset man die Geschichte der Wissenschaften, so findet man, daß es besonders einige wenige hervorragende Geister gewesen sind, welche sich um das Aufblühen der einzelnen Theile derselben verdient gemacht und dem Forschungseifer der Zeitgenossen und Nachkommen neue, fruchtbare Bahnen gewiesen haben. Auch die Astronomie hat solche hervorragenden Persönlichkeiten aufzuweisen, und unter ihnen glänzt *Isaak Newton* als ein Stern erster Größe am wissenschaftlichen Himmel besonders hervor. Er ist es gewesen, der den Schleier, welcher den Himmel und seine Erscheinungen in ihrer Wesenheit dem Blicke der Menschen verhüllte, gehoben und in das Dunkel der verkehrtesten astrologischen Phantasien und Irrthümer das Licht des rechten Verständnisses und der Wahrheit gebracht hat. Er kann darum mit Recht der Begründer der neueren Astronomie genannt werden.

1. **Isaak Newton.** Dieser große Mann wurde am 25. December 1642 zu Woolsthorpe, einem Dorfe in der Grafschaft Lincoln, geboren. Schon mit dem 18. Jahre ging er auf die Universität zu Cambridge und wandte sich unter der Leitung *Barrows*, Professors der Mathematik an der gedachten Universität, mit besonderer Vorliebe dem Studium der Mathematik zu. Fleißig studirte er die Werke des berühmten *Descartes*, die arithmetischen Schriften *Wallis*', sowie die astronomischen Werke *Keplers*, und schon 1669 ward er an *Barrows* Stelle Professor der Mathematik zu Cambridge. Dieses Amt behielt er bis zum Jahre 1695, zu welcher Zeit er zum Münzwardein ernannt wurde. Vier Jahre später, 1699, ward er Direktor der Königlichen Münze zu London, welches Amt er bis zum Ende seines Lebens bekleidete. Außerdem ward er 1703 zum Präsidenten der Königlichen Societät der Wissenschaften erwählt. Am 20. März 1727 beschloß er im 85. Lebensjahre sein an wissenschaftlichen Entdeckungen so reiches Leben, und in Würdigung seiner großen Verdienste wurde sein Leichnam unter königlichen Feierlichkeiten in der Westminster-Abtei nahe den Leichen der englischen Könige beigesetzt.

Berühmt geworden ist sein Werk über Optik; sein Hauptwerk aber, durch welches er seinen Namen unsterblich gemacht hat, ist betitelt: *Principia philosophiae naturalis mathematica.* In diesem wichtigen Werke hat er die Gesetze der Attraction mathematisch entwickelt und aus denselben viele interessante Folgerungen abgeleitet. Es bezeichnet einen Wendepunkt in der Entwicklung der Astronomie und hat ein helles Licht über den großen Weltenbau verbreitet. Doch sowie eine Zeit der Dämmerung erst den hellen Tag vorbereitet, so wurden auch schon vor *Newton* manche von ihm gefundene und mathematisch bewiesene Gesetze wenigstens geahnt und auch wohl gelegentlich ausgesprochen. Genauere Bekanntschaft mit den Erscheinungen, gründlicheres, vor-

urtheilsfreieres Nachdenken über dieselben führten allmählich zur Vorahnung der Gesetze; doch dem gebührt die Palme, dem es gelungen, in klarer, bündiger Weise dieselben als bestimmte Thatsachen hinzustellen und so zu beweisen, wie *Newton* es gethan hat.

2. **Vorgänger Newtons.** Der Weg zu seinen großen Entdeckungen ward ihm von einigen berühmten Vorgängern geebnet. Besonders nennenswerth ist unter diesen zuerst *Nicolaus Copernikus* (geb. 1472, gest 1543). Er riß, indem er die Sonne als den natürlichen Mittelpunkt des Planetensystems erkannte, das künstliche System des *Ptolemäus*, welches Jahrhunderte lang gegolten hatte, und an dessen Wahrheit zu zweifeln als Ketzerei angesehen ward, bis auf den Grund nieder und schuf durch sein neues System, durch welches es möglich ward, die Erscheinungen einfach zu erklären, die nothwendigen Bedingungen, unter welchen allein ein Eindringen in das innere Getriebe, in die Welt der Kräfte erfolgen konnte. Denn die Astronomie gehört zu den Naturwissenschaften, und wie in diesen kann man nur durch sorgfältige, vorurtheilsfreie Beobachtung der wirklich sich darbietenden Erscheinungen zu den Gesetzen dieser Erscheinungen und von diesen zuletzt zu den wahrscheinlichen Ursachen dieser Gesetze aufsteigen. Dieser Fortschritt von dem Was zu dem Wie und dann zu dem Warum ist der einzig naturgemäße, und darum in neuerer Zeit fast allgemein befolgte. Wer die Natur nach vorgefaßten Meinungen beurtheilt, ist wie jemand, der eine Gegend durch eine farbige Brille betrachtet: er glaubt alles in Uebereinstimmung mit seinen Meinungen, in allem die Bestätigung derselben zu finden. — Ein Fortschritt in der Entwicklung der Astronomie war also erst möglich, nachdem man die Erscheinungen in ihrem wahren Verlaufe erkennen konnte, und dies wurde durch das einfache System des *Copernikus* wesentlich erleichtert.

Erst durch ihn konnte *Kepler*, der in seine Fußtapfen trat, den gesetzmäßigen Verlauf der Erscheinungen in seinen berühmten 3 Gesetzen constatiren und noch bestehende kleine Irrthümer beseitigen; durch *Kepler* gewann die Sternkunde eine mathematische Unterlage und eine eigentlich streng wissenschaftliche Gestalt. In den *Kepler*schen Gesetzen aber lag bereits das Gesetz der Welt; indes war es *Kepler* nicht vergönnt, zu demselben hindurchzudringen und die Ursache der Gesetze in der allgemeinen Anziehung zu erkennen. Ist aber eine natürliche Entwicklung erst angebahnt, so geben sich schon im Fortschreiten derselben Zeichen kund, die das hohe Ziel derselben, wenn auch nur in schwachen Anklängen, erkennen lassen.

Ein französischer Arzt, *Bouillaud*, stellte bereits 1645 in einem astronomischen Werke den Satz auf, daß die Kraft, mit welcher die Sonne die Planeten anziehe, sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen der Planeten von der Sonne verhalte, und *Borelli* sprach in seinem 1666 erschienenen Werke über die Monde Jupiters die Behauptung aus, daß die Bewegung der Planeten um die Sonne nach demselben Gesetz erfolgen müsse, nach welchem Satelliten sich um ihren Hauptplaneten und der Mond um die Erde bewege. So richtig

diese Sätze auch sind, so blieben sie doch ohne Erfolg, da sie nur gelegentlich ausgesprochen, aber nicht bewiesen wurden.

Ein Zeitgenosse *Newtons*, *Hooke*, ein genialer Mann, suchte die krummen Bahnen der Himmelskörper in einem im Mai 1666 der Akademie zu London gehaltenen Vortrage durch die Wirkung einer constanten Tangential- und einer veränderlichen Centrifugalkraft zu erklären, und 1674 stellte er in einer von ihm herausgegebenen Schrift den Satz auf, daß alle Himmelskörper eine gegen ihren Mittelpunkt gerichtete Anziehungskraft hätten, wodurch sie sowohl auf ihre eigenen Theile, als auch auf andere Körper außer sich wirkten, und zwar auf nähere stärker als auf fernere etc.

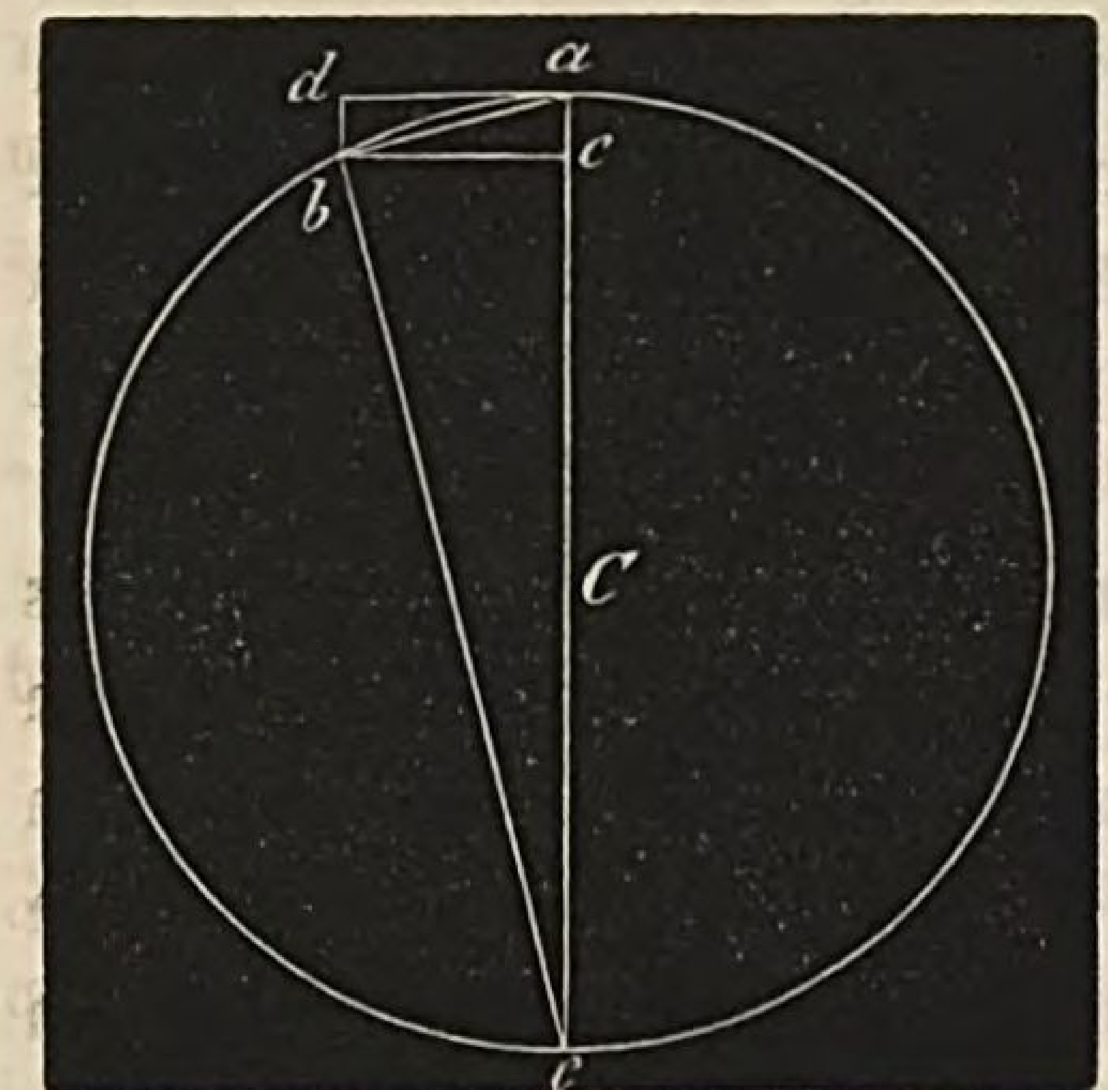
Endlich ist noch der bei der Betrachtung des Pendels schon genannte und durch viele wichtige Entdeckungen berühmte Geometer *Huyghens* zu nennen (geb. 1625, gest. 1695), der in einer großen Abhandlung die Eigenschaften der Centralbewegung öffentlich vorgetragen hatte und nur zwei seiner Propositionen hätte zu verbinden brauchen, um der Entdecker der Weltgesetze zu werden. Doch die Palme war *Newton* aufbewahrt, und ein geringer Umstand soll ihn zu den Rechnungen veranlaßt haben, deren Resultat so wichtig geworden ist und seinen Namen unsterblich gemacht hat.

3. **Veranlassung zu Newtons Entdeckung.** Der Fall eines Apfels in seinem Garten zu Woolsthorpe, wohin er sich 1666 wegen einer pestartigen Krankheit, die in Cambridge ausgebrochen war, zurückgezogen hatte, soll sein Nachdenken angeregt haben. Andere erzählen, *Newton* sei nicht in seinem Garten zu Woolsthorpe, sondern in dem Garten der Herzogin von Kent an einem schwülen Sommernachmittage unter einem Apfelbaum eingeschlafen; ein plötzlich hereinbrechender Sturm habe einen Apfel aus großer Höhe herabgeschleudert, ihm denselben an die Nase geworfen und ihn so unsanft aus dem Schlafe geweckt. Da sei ihm der Gedanke gekommen: Wie, wenn der Apfel aus der Höhe des Mondes herabgefallen wäre, würde ich da wohl mit dem Leben davongekommen sein? Wirkt überhaupt die Kraft, welche den Apfel und jeden andern fallenden Körper zur Erde treibt, auch auf den Mond? Er fühlte sich nun veranlaßt nachzurechnen, wieviel der Mond bei seiner Bewegung um die Erde in jeder Sekunde von der geradlinigen Tangente an seiner Bahn abweiche oder zur Erde falle, und ob sich zwischen der gefundenen Größe und dem Fallraum eines Körpers an der Erdoberfläche einerseits, und den Entfernungen des Mondes und des fallenden Körpers vom Erdmittelpunkte andererseits ein bestimmtes Verhältnis erkennen lasse. Er würde diese Frage mit ja beantwortet haben, falls ihm richtige Angaben über die Größe der Erde und der Entfernung des Mondes von der Erde (60 Erdhalbmesser) zu gebote gestanden hätten, wie wir in dem Folgenden sehen werden.

4. **Versuch zur Lösung der Frage.** Ein Körper fällt an der Erdoberfläche mit einer Geschwindigkeit von 15 Fuß in der 1. Sek.; wie tief muß der Mond in der 1. Sek. fallen, wenn er auch von der Erde angezogen wird? Diese Aufgabe ist zu lösen: Die Bewegung des Mondes ist das Resultat zweier

Kräfte, nämlich der Anziehungskraft der Erde und der Centrifugalkraft. Die letztere würde ihn in gerader Linie von der Erde entfernen, die erstere ihn zur Erde fallen machen. Benutzen wir die bekannte *Fig. 142,* so wird *ad* den Weg bezeichnen, den der Mond in einer gewissen Zeit, wir wollen annehmen in einer Sek., vermöge der Centrifugalkraft durchliefe, während *db* oder die ihm gleiche *ac* die Wirkung der Anziehungskraft der Erde in einer Sek. ausdrückt. Diese Wege, *db* oder *ac,* sind als der Fallraum des Mondes in der einen Sek. zu betrachten; denn jeder in einer krummen Bahn sich bewegende Körper ist eigentlich in einem fortwährenden Fall zu seinem Centralkörper begriffen. Es kommt also vor allen Dingen darauf an, die Größe *ac* zu bestimmen. Wir haben aber S. 544 bereits einen Werth dafür gefunden.

Fig. 142.



Da nämlich $ac : ab = ab : ae$,

so ist $ac = \frac{ab^2}{ae}$, wobei der Bogen *ab* als gerade Linie angesehen werden kann. Der Bogen *ab* ist aber der Weg des Mondes in 1 Sek. und läßt sich leicht berechnen; man hat nämlich nur nöthig, die in Fußen ausgedrückte Länge der ganzen Mondbahn durch die zu Sekunden gemachte siderische Umlaufszeit des Mondes von 27 Tg. 7 Std. 43 Min. 11 Sek. zu dividiren.

Nehmen wir die Entfernung des Mondes von der Erde zu 51000 Mln. an (à 23642 preuß. Fuß), so ist der Durchmesser der Mondbahn 2411484000 Fuß, und dies ist der Werth für *ae.* Daraus folgt der Umfang der Mondbahn $(ae \, . \, \pi) = 7572059760$ Fuß. Dieser Umfang durch die in Sekunden ausgedrückte Umlaufszeit des Mondes (= 2360591 Sek.) dividirt, giebt als Weg des Mondes in 1 Sekunde $\frac{7572059760}{2360591} = 3207$ Fuß. Das Quadrat dieser Zahl (ab^2) ist = 10284849. Dividirt man dasselbe durch die Länge des Durchmessers, so findet man für *ac*: $\frac{10284849}{2411484000} = 0{,}00426$ Fuß, und dies ist die Wirkung der Anziehung der Erde auf den Mond, falls sich dieselbe bis zu ihm erstreckt und ihn in seiner Bahn erhält. Um darüber Gewißheit zu erlangen, muß berechnet werden: Wie tief fällt ein Körper, der auf der Erdoberfläche, d. i. in einer Entfernung von 860 Mln., 15 Fuß fällt, in der Entfernung der Mondes von der Erde?

Wenn die Anziehungskraft im umgekehrten Verhältnis mit den Quadraten der Entfernung steht, so muß der Körper durch

$$\frac{860^2 \times 15}{51000^2} = \frac{739600 \times 15}{2601000000} = \frac{11094000}{2601000000} = 0{,}00426 \text{ Fuß}$$

in der ersten Sekunde fallen. Vergleicht man dies Resultat mir dem vorigen, so wird man die schönste Uebereinstimmung finden, und es ist darum an der Richtigkeit der Annahme, einmal, daß die Anziehungskraft der Erde bis zum

Monde wirkt und denselben in seiner Bahn erhält, sodann, daß diese Anziehungskraft mit den Quadraten der Entfernung abnimmt, nicht zu zweifeln.

5. **Newtons Fehler bei der Berechnung.** Aber *Newton* fand leider keine solche Uebereinstimmung in seinen Rechnungen, und zwar aus dem Grunde nicht, weil er in dem letzten Exempel eine Zahl, nämlich die Entfernung der Erdoberfläche vom Erdmittelpunkte, d. i. die wahre Größe der Erde, nicht genau kannte. Es waren zwar zu seiner Zeit die Resultate der Gradmessungen von *Snellius*, *Norwood* u. a. bereits vorhanden, welche die Größe der Erde ziemlich genau angeben; allein *Newton* scheint von ihnen in der Abgeschiedenheit seines ländlichen Sitzes keine Kunde gehabt und den Meridiangrad in runder Zahl zu 60 englischen Mln., d. i. fast $^1/_7$ zu klein, angenommen zu haben; darum fand er auch das gesuchte Resultat zu klein, nämlich statt der von uns gefundenen Zahl 0,00426 die Zahl 0,00361 Fuß für den Fall des Mondes zur Erde in der 1. Sek. Diese Zahl würde zur Fallhöhe an der Erdoberfläche nur dann in dem umgekehrten Verhältnis der Quadrate der bezüglichen Entfernungen stehen, wenn jene Fallhöhe 13,065 Fuß betrüge, während sie doch in Wirklichkeit 15 Fuß ist.

Anstatt Mistrauen in die seinen Rechnungen zu grunde gelegten Zahlenangaben zu legen, mistrauete er der Annahme, nach welcher die Anziehungskraft im umgekehrten Verhältnisse mit den Quadraten der Entfernung stehe, und er legte die Rechnung als verfehlt beiseite.

6. **Endliches Gelingen.** Nach 16 Jahren, im Juni des Jahres 1682, erfuhr er in der Akademie von London, wo eine Versammlung gehalten werden sollte, von den Gradmessungen des damals wenig bekannten *Picard* in Frankreich und nahm Abschrift von den Resultaten derselben aus einem Schreiben, welches eines der Mitglieder der Akademie vorzeigte. Kaum war die Sitzung beendigt, so zog er seine früheren Rechnungen wieder hervor und ersetzte die falsche Zahl für die Größe der Erde durch die neue, richtige. Je mehr er sich dem Endresultate der Rechnung näherte, desto mehr überzeugte er sich von dem wirklichen Bestehen des vermutheten Verhältnisses der Anziehungskraft, und gerieth endlich in eine so fieberhafte Aufregung, daß er einen eintretenden Freund die Rechnung zu vollenden bat. Das Gesetz der Welt und die dasselbe beherrschende Kraft war gefunden. Eine neue Epoche begann für die Astronomie; denn aus dem einen gefundenen Gesetze gingen in rascher Folge die herrlichsten Entdeckungen und Consequenzen hervor. *Newton* selbst zog viele derselben aus seiner wichtigen Entdeckung und legte die Resultate seiner Forschungen und mühsamen Rechnungen 4 Jahre nach der ersten Entdeckung, 20 Jahre nach der ersten Idee dazu, in dem schon genannten großen Werke: *Principia philosophiae naturalis mathematica*, nieder. Da es nur wenigen vergönnt sein dürfte, dieses unschätzbare Buch zu lesen und auch nur wenigen die Fähigkeit, es in allen Theilen zu verstehen, eigen sein möchte; da es ferner wenig Nutzen gewährt, wenn man nur den Titel eines Buches zu nennen weiß: so möge hier Einiges über den werthvollen Inhalt desselben beigebracht werden.

Es handelt zuerst von den Bahnen, die die Körper unter der Wirkung verschiedener Kräfte beschreiben, und namentlich ausführlich ist die Centralbewegung besprochen unter der Annahme, daß sich die Centralkräfte umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Es zeigt ferner, daß man bei Kugeln die anziehende Kraft als im Mittelpunkte vereinigt ansehen, und sich daher die Rechnung erleichtern kann, wenn es darauf ankommt, die gegenseitige Anziehung der Planeten und die sogenannten Störungen zu bestimmen. Es wird ferner darin gelehrt, daß man wegen der großen Masse der Sonne, die die aller Planeten mehr denn 700 mal übertrifft, nicht nöthig habe, um den Ort irgend eines Planeten in seiner Bahn zu irgend einer Zeit zu bestimmen, obgleich dieser Ort ein Resultat der Anziehung der Sonne und der aller einzelnen Planeten ist, alle Planeten zugleich als die elliptische Bahn des betreffenden Planeten abändernd oder störend in Rechnung zu ziehen; sondern, daß es genüge, die Wirkung je eines Planeten auf einen andern, dessen Lauf um die Sonne bestimmt werden soll, zu berechnen. Diese Berechnung ist unter dem Namen des Problems der drei Körper bekannt. Es wird ferner gezeigt, wie man nach den Attractionsgesetzen die Massen und Dichtigkeiten der Planeten, die Fallgeschwindigkeit an ihrer Oberfläche etc. bestimmen könne. Die Größe der Abplattung der Erde aus theoretischen Gründen, Ebbe und Flut, die Ungleichheiten im Laufe des Mondes, die Bewegung der Knoten- und Apsidenlinien, der Lauf der Kometen u. s. w. werden in dem Buche behandelt.

Die darin vorgetragenen Lehren waren so neu und zugleich so schwierig, daß das Buch erst allmählich sein Publikum suchen mußte und nicht gleich die Aufnahme fand, die ihm gebührte. *Newton* überragte bei weitem seine Zeit, und selbst in unsern Tagen sind die darin aufgestellten Principien in ihren letzten Consequenzen noch nicht erschöpft. Wie viel von dem früher mitgetheilten wir *Newton* verdanken, wird schon aus der obigen, dürftigen Inhaltsangabe des Werkes zu ersehen sein.

Sechstes Kapitel.

Von den Massen- und Dichtigkeits-Bestimmungen der Himmelskörper.

Das Beispiel, welches *Newton* anwandte, um den Fall des Mondes zur Erde zu bestimmen, zeigt uns den Weg, auf dem es möglich ist, den Fall jedes einzelnen Planeten zur Sonne in irgend einer Zeit zu berechnen, wenn nur die Entfernung des Planeten von der Sonne und die Zeit seiner siderischen Revolution, in welcher er genau 360° durchläuft, bekannt sind. Beide Bestimmungen sind aber für alle Planeten ziemlich sicher bestimmt.

1. **Fall der Erde und Jupiters zur Sonne in 1. Sek.** So beträgt z. B.

die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne 20682000 geogr. Mln.; der Durchmesser der Bahn ist somit = 41364000 geogr. Mln. = 977927688000 preuß. Fuß, und daraus folgt der Umfang der Bahn = 3070692940320 preuß. Fuß. Da nun die siederische Umlaufszeit der Erde = 365 Tg. 6 Std. 9 Min. 10 Sek. = 31558150 Sek. beträgt, so ist ihr Weg in einer Sek. = 97303 Fuß.

Nach dem allgemeinen Ausdruck: $ac = \frac{ab^2}{ae}$ ist der Fall der Erde zur Sonne in 1 Sek. $= \frac{97303^2}{977927688000} = \frac{9467873809}{977927688000} = 0{,}0096815$ Fuß. Für Jupiter in 107602241 geogr. Mln. Entfernung von der Sonne und bei einer siderischen Umlaufszeit von 4332,5848 Tg. = 374335326 Sek. findet man für den Weg in 1 Sek. 42678 preuß. Fuß, und daraus für den Fall zur Sonne in 1 Sek. $\frac{1821411684}{5087864363444} = 0{,}000358$ Fuß.

Da die Größe des Falls zur Sonne ein Maß für die Größe der Anziehungskraft derselben ist, so verhält sich die auf die Erde zu der auf Jupiter ausgeübten

wie 0',0096815 : 0',000358.

Da aber die Anziehungskräfte auch im umgekehrten Verhältnisse mit den Quadraten der Entfernungen stehen, die Entfernung der Erde zu der Jupiters von der Sonne sich aber wie 1 : 5,2, und daher die Quadrate dieser Zahlen wie 1 : 27,04 verhalten; so muß das obige Verhältnis der Fallräume in einer Sek. das umgekehrte Verhältnis der beiden letzten Zahlen sein. Führt man die Rechnung aus, so findet man den Fallraum der Erde 27,04 mal so groß als den Jupiters; es zeigen also die auf verschiedenen Wegen gefundenen Resultate die schönste Uebereinstimmung. Das mitgetheilte Verfahren, derartige Aufgaben zu lösen, ließe sich noch auf mancherlei Weise abkürzen, und namentlich für ac ein anderer Ausdruck finden; doch wird man bei Ausführung der Rechnung von selbst auf einige Abkürzungen kommen. Jedenfalls ist es rathsam, selbst ähnliche Aufgaben zu lösen, weil man dadurch erst zum rechten Verständnis der Sache gelangt.

2. Bestimmung der Sonnenmasse. Bisher blieb immer die Masse des anziehenden Körpers außer betracht, weil wir es stets mit demselben Körper, der Sonne, in verschiedenen Entfernungen von den Planeten zu thun hatten. Will man aber das Massenverhältnis zweier Himmelskörper bestimmen, so muß man die Wirkung beider in bekannten Entfernungen berechnen. Ein Beispiel wird die Sache klar machen. Wählen wir, um die Masse der Sonne zu finden, zunächst Erde und Mond. Wir wissen bereits, daß der Mond durch die Anziehungskraft der Erde in einer Entfernung von 51000 geogr. Mln. in einer Sek. 0,00426 Fuß zur Erde fällt, und daß die Erde, von der Sonne angezogen, sich in einer Sek. um 0,0096815 Fuß der Sonne nähert. Diese Wirkung aber übt die Sonne in einer 399 mal so großen Entfernung; in derselben Entfernung würde sie die Erde 399 × 399 = 159201 mal so viel fallen machen = 1541,22488 Fuß.

Da jetzt die Anziehung der Erde und der Sonne auf dieselbe Entfernung gebracht ist, so kann der Unterschied der Anziehung nur in der Massenverschiedenheit beider liegen, und da die Anziehungskraft im geraden Verhältnisse mit der Masse steht, so muß sich die Masse der Sonne zu der der Erde wie 1541,22488 : 0,00426 oder wie 361789 : 1 verhalten, d. h. die Masse der Sonne ist 361789 mal so groß, als die der Erde. Diese Zahl ist freilich ein wenig zu groß, weil die Zahlen, die das Verhältnis der Entfernungen angaben, nicht ganz genau sind. Ein genaueres Resultat ergiebt sich, wenn man die Entfernung der Erdoberfläche vom Erdmittelpunkte von 860 Mln. als Einheit annimmt. Die Entfernung der Erde von der Sonne ist = 24050 Erdhalbmessern. Nun fällt ein Körper an der Erdoberfläche oder in der Entfernung eines Erdhalbmessers in der ersten Sek. 15 Fuß; in der Entfernung von 24050 Erdhalbmessern würde er nur $\frac{15}{24050 \times 24050} = 0{,}000000027$ preuß. Fuß fallen. In derselben Entfernung fällt aber die Erde zur Sonne (s. oben) 0,0096815 Fuß. Folglich verhält sich die Masse der Erde zur Masse der Sonne wie 0,000000027 : 0,0096815 = 1 : 358574. Nach *Encke* beträgt die Sonnenmasse 359551 mal die der Erde; obiges Resultat stimmt mit diesem ziemlich genau zusammen. Es kann hier überhaupt nur darauf ankommen, die Möglichkeit der Berechnung deutlich zu machen; die feinen Correctionen müssen hier ausgeschlossen werden.

3. **Bestimmung der Jupitersmasse.** Jupiters Masse im Verhältnis zur Sonne läßt sich leicht aus dem Fall eines seiner Monde zu ihm ableiten.

Der erste Mond Jupiters befindet sich in einer Entfernung von 58355 geogr. Mln. = 1379628910 preuß. Fuß. Der Umfang seiner Bahn ist demnach = 8664069554 preuß. Fuß, und der Durchmesser derselben = 2759257820 preuß. Fuß. Da seine Umlaufszeit = 1 Tg. 18 Std. 28 Min. = 152880 Sek. ist, so ist der Weg in 1 Sek. = 56672 Fuß. Hieraus ergiebt sich der Fall des ersten Mondes zum Jupiter in 1 Sek. $= \frac{56672^2}{2759257820} = \frac{3211715584}{2759257820} =$ 1,1639 preuß. Fuß. Nun fällt Jupiter in 1 Sek. 0,000358 Fuß, aber in einer Entfernung, die 1843,9 mal die des ersten Mondes von ihm ist; mithin würde Jupiter in der Entfernung seines ersten Mondes von der Sonne $0{,}000358 \times (1843{,}9)^2 = 1217$ Fuß fallen. Dieser Raum ist aber 1045,78 mal so groß, als der Fall des ersten Mondes; folglich übertrifft die Sonnenmasse die Jupiters 1045,78 mal, oder Jupiter hat $\frac{1}{1045{,}78}$ der Sonnenmasse. *Alex. v. Humboldt* giebt dieselbe zu $\frac{1}{1048{,}059}$ an, so daß also auch hier eine ziemlich genaue Uebereinstimmung vorhanden ist. Nebenbei sei bemerkt, daß die Bestimmung der Masse Jupiters nach der der Sonne im Sonnensystem am wichtigsten ist, weil er nach dieser die größte Masse besitzt und die größten Störungen veranlaßt. Da die Sonne 359551 mal so viel Masse hat als die Erde, und

1048 mal so viel als Jupiter, so ist Jupiters Masse $= \frac{359551}{1048} = 343$ mal so groß als die der Erde. Auf die angegebene Weise läßt sich also das Massenverhältnis der Sonne zu den Planeten und dadurch secundär auch das dieser unter einander finden. Am sichersten ist diese Bestimmung bei Planeten, die mit Monden umgeben sind, weil sich in dem Laufe derselben die Anziehungskraft des Hauptplaneten offenbart. Bei den mondlosen Planeten muß die Wirkung ihrer Anziehung und daraus ihre Masse aus den Störungen berechnet werden, welche dieselben etwa auf Nachbarplaneten oder auf Kometen äußern, die in die Nähe derselben kommen. Daß dieses Mittel auch auf die mit Monden versehenen Planeten Anwendung finden kann, versteht sich von selbst.

4. **Zusammenfassung.** Fassen wir das über die Art der Massenbestimmung der Himmelskörper Gesagte noch einmal kurz zusammen, so läßt sich dasselbe etwa so ausdrücken: Man findet das Massenverhältnis zwischen zwei Himmelskörpern, wenn man die Werthe der von ihnen in gleicher Entfernung ausgeübten Anziehung durch einander dividirt.

Allgemein läßt sich die Masse eines Körpers so ausdrücken: $M = A \times E^2$, wenn A die Anziehung, E die Entfernung und M die Masse bedeutet. Mit Worten: Die Masse eines Körpers ist gleich seiner Anziehung multiplicirt mit den Quadraten der Entfernung, welcher Ausdruck nach den obigen Erörterungen verständlich sein wird.

5. **Anderes Verfahren der Massenbestimmung.** Anstatt, wie oben angedeutet worden, die Masse der Planeten unter einander secundär, nämlich aus ihrem Massenverhältnis zur Sonne abzuleiten, kann diese Bestimmung bei Planeten, die mit Monden umgeben sind, auch noch direkt gefunden werden, und wir theilen dies Verfahren mit, da es stets zu empfehlen ist, eine Sache von verschiedenen Seiten zu betrachten, und sich außerdem dies Verfahren aus bereits bekannten Sätzen, nämlich aus dem 3. *Kepler*schen Gesetze, leicht ableiten läßt. Nach diesem Gesetze verhalten sich die Umlaufszeiten zweier Planeten wie die Kubikzahlen ihrer mittleren Entfernung von der Sonne. Bewegen sich um einen Centralkörper mehrere andere Körper, wie z. B. die Planeten um dieselbe Sonne, so muß das Verhältnis der Quadrate der Umlaufszeiten und der Kuben der mittleren Entfernung zwischen allen Gliedern des Systems gleich sein, da ja dieselbe Kraft und Masse der Sonne die Bewegungen aller Planeten regelt. Wenn sich dagegen in zwei verschiedenen Systemen Körper um zwei verschiedene Centralkörper bewegen, so muß zwischen den Quadraten der Umlaufszeiten und den Kuben der mittleren Entfernung in dem einen System und denselben Größen im zweiten System ein gewisses, dem Verhältnis der Masse der Centralkörper entsprechendes Verhältnis stattfinden, das eben zu bestimmen ist.

Bezeichnen R und r allgemein die mittlere Entfernung, und U und u die Umlaufszeiten zweier Planeten, so würde bei zwei Körpern desselben Systems

dies Verhältnis von $R^3 : r^3$ dem von $U^2 : u^2$ = sein, es würden also beide zusammen auch die Proportion: $R^3 : r^3 = U^2 : u^2$ bilden, und in dieser wäre das Produkt der äußeren Glieder gleich dem der inneren Glieder, also $R^3 . u^2 = r^3 . U^2$. Haben wir es dagegen mit zwei Körpern zu thun, die sich um verschiedene Centralkörper bewegen, so ist das Verhältnis dieser Produkte auch das der Masse der beiden Centralkörper. Bei zwei Systemen verhält sich also die Masse des Centralkörpers im ersten zu der des Centralkörpers im zweiten System, wie der Kubus des Bahnhalbmessers im ersten System multiplicirt mit dem Quadrate der Umlaufszeit des Körpers im zweiten System — zu dem Kubus des Bahnhalbmessers im zweiten System multiplicirt mit dem Quadrate der Umlaufszeit des Körpers im ersten System.

6. **Beispiel.** Wählen wir als Beispiel die Erde mit dem Monde und Jupiter mit seinem ersten Monde, so haben wir 2 kleine Systeme, deren Centralkörper ihrem Massenverhältnis nach bestimmt werden soll. Bei dem Monde ist der Bahnhalbmesser 51000, bei dem ersten Monde Jupiters 58000 Mln.; beide Zahlen, R und r, verhalten sich wie 1 : 1,13. Die Umlaufszeit des Mondes ist = 27 Tg. 7 Std., die des Jupitermondes = 1 Tg. 18 Std., und das Verhältnis beider Umlaufszeiten, U und u, = 15,6 : 1. Die Masse der Erde verhält sich demnach zu der Jupiters wie

$$1^3 \times 1^2 : (1{,}13)^3 \times (15{,}6)^2 =$$
$$1 : 1{,}4 \times 243{,}36 =$$
$$1 : 340{,}704.$$

Hiernach wäre Jupiters Masse 340,7 mal die der Erde, was mit dem oben gefundenen Resultat 343 ziemlich genau übereinstimmt.

Auf diese Weise läßt sich also das Massenverhältnis der Sonne zu der Masse aller Planeten finden. Die Resultate der Rechnungen sind bereits in der Tabelle S. 443 angegeben worden; hier ist der Weg gezeigt worden, sie zu finden. Wäre man im stande, die Entfernung der Doppel- und mehrfachen Sterne in einem bekannten Maße anzugeben, so würde man bei bekannten Umlaufszeiten auch das Massenverhältnis dieser uns so fernen Himmelskörper zu berechnen vermögen. Es ist zu empfehlen, einen derartigen Versuch zu machen; man kann dazu einen der S. 470 bezeichneten Doppelsterne mit bekannter Umlaufszeit wählen, und da die Entfernung derselben von einander in geogr. Mln. noch nicht bekannt ist, irgend eine Entfernung von so und so viel Sternweiten annehmen. Man wird zu interessanten Resultaten gelangen.

7. **Versuch einer absoluten Massenbestimmung der Himmelskörper.** Auf dem bisher angedeuteten Wege gelangt man aber nur zu Massenverhältnissen oder zu relativen Massenbestimmungen, so daß man also z. B. angeben kann: 359551 Erdkugeln oder 1048 Jupiterskugeln halten der Sonne das Gleichgewicht oder haben ebenso großes Gewicht wie sie. Es ist indessen auch der Versuch gemacht worden, die Masse eines Himmelskörpers absolut zu bestimmen. Den interessantesten Versuch in dieser Beziehung hat

Cavendish angestellt, dem die Physik viel zu danken hat. Er befestigte zunächst 2 gleich große Metallkugeln, deren jede über 3 Ctr. wog, an den beiden Enden eines stark construirten zweiarmigen Hebels, der in seinem Unterstützungspunkte in horizontaler Richtung drehbar war. Zwischen diesen beiden großen Kugeln ward an einem Silberfaden ein feiner zweiarmiger Hebel aufgehängt, der genau ins Gleichgewicht gebracht war, und an dessen Enden sich zwei kleine Metallkugeln befanden. So konnte dieser sehr leicht bewegliche Hebel ein Pendel vorstellen, das in horizontaler Richtung, und zwar nur in der durch die Mittelpunkte der großen Kugeln gedachten Horizontalebene schwingen konnte. Jeder Luftzug wurde sorgsam abgehalten und die Bewegungen des kleinen Hebels mit einem Fernrohre beobachtet. Brachte man die großen Kugeln in eine solche Lage, daß die Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte rechtwinklig auf dem kleinen Hebel war, so konnte keine Bewegung eintreten, da die Masse der beiden großen Kugeln nach beiden Seiten hin gleich wirkte. Drehte man aber diese Kugeln aus dieser Lage heraus, so mußten sie wegen ungleicher Entfernung auf die kleinen Kugeln des feinen Hebels ungleich wirken und setzten diesen in eine schwingende Bewegung, deren Geschwindigkeit und Größe eben beobachtet werden mußte. *Cavendish* erfuhr auf diese Weise, was für Schwingungen Kugeln von bekannter Masse und in bekannter Entfernung auf ein Pendel von bekannter Länge hervorriefen, und indem er diese Schwingungen mit denen eines gleichlangen Pendels verglich, das durch die Anziehungskraft der Erde bewegt wird, konnte er auf die Masse der Erde im Verhältnis zu der der großen Kugeln schließen. Da aber ferner das Gewicht der Kugeln bekannt war, so ließ sich daraus das Gewicht und damit die absolute Masse der Erde bestimmen. Nach S. 522 findet man aber die Dichtigkeit der Körper, wenn man ihre Masse durch ihr Volumen dividirt, und darum ließ sich auch das Dichtigkeitsverhältnis der Kugeln und der Erde finden. Das Dichtigkeitsverhältnis ist aber zugleich das der specifischen Gewichte. Das specifische Gewicht der Kugeln war bekannt, und so ließ sich auch leicht das der Erde bestimmen. *Cavendish* fand für dasselbe 5,44, so daß also durchschnittlich ein gewisses Volumen der Erde 5,44mal so viel wiegt, als ein gleiches Volumen Wasser. Ein Kubikfuß Wasser wiegt 61,74 Pfd. Man hätte also nur nöthig, das Volumen der Erde in Kubikfußen auszudrücken und mit 61,74 zu multipliciren, um das Gewicht der Erde in Pfunden ausgedrückt zu erhalten. Man wird finden, daß die gefundene Zahl zu groß ist, als daß man dabei eine deutliche Vorstellung haben könnte; unsere irdischen Maße sind für die Weltkörper zu klein, wie wir schon so oft gesehen haben.

Zu einem Resultate, das mit dem obigen von *Cavendish* gefundenen sehr nahe übereinstimmt, kam auch *Maskelyne* durch seine 1772 mit großer Sorgfalt am Fuße des Shehallien in Schottland angestellten Versuche über die Ablenkung des Bleilothes in der Nähe großer Bergmassen. Er fand 54" Ablenkung und die Dichtigkeit der Erde zu 4,56. *Carlini* stellte 1824 mit fast gleichem Erfolge ähnliche Versuche am Mont Cénis an. Aus *Reichs* Ver-

suchen mit der Drehwage in Freiberg folgte die Erddichtigkeit = 5,438 und *Bailly* fand sie = 5,660. Diese Zahlen für das specifische Gewicht der Erde sind aber nur Durchschnittszahlen, die gelten würden, wenn die Erde in allen Theilen gleiche Dichtigkeit hätte. Die an der Oberfläche der Erde sich findenden Steinmassen haben meist ein specifisches Gewicht zwischen 2 und 3; daraus folgt, daß die Dichtigkeit der Erde nach dem Innern zunehmen muß, ein Resultat, das auch, wie wir bereits gesehen, aus der Größe der Abplattung sich ergiebt; denn diese müßte bedeutender sein, falls die Erde überall gleiche Dichtigkeit, die der Oberfläche, hätte.

8. **Bestimmung der Dichtigkeit der Himmelskörper.** Im Verlauf der vorigen Auseinandersetzung haben wir bereits das Verfahren kennen gelernt, die Dichtigkeit der Himmelskörper zu finden. Man hat nämlich nur nöthig, die Masse eines Körpers durch sein Volumen zu dividiren.

So ist z. B. die Masse der Sonne 359551 und das Volumen derselben 1407124, wenn die entsprechenden Größen der Erde = 1 gesetzt werden; darum ist die Dichtigkeit der Sonne $= \frac{359551}{1407124} = 0{,}25$ d. h. $^1/_4$ von der Dichtigkeit der Erde, und da diese im Durchschnitt 5,4 mal so dicht als Wasser ist, so hat die Sonne 1,36 mal die Dichtigkeit des Wassers. Will man die Dichtigkeit der Planeten im Verhältnis zu der der Erde finden, so hat man Massen und Volumina derselben im Verhältnis zur Erde zu bestimmen, und die Zahl für die Massen durch die Zahl für die Volumina zu dividiren. Aus der gefundenen Zahl läßt sich dann leicht das Dichtigkeitsverhältnis zu Wasser finden.

Man versuche mit Hilfe der in der Tabelle S. 443 angegebenen Massen- und Volumenverhältnisse die Dichtigkeit der einzelnen Planeten zur Erde und zum Wasser zu berechnen, um sich zu überzeugen, ob man die Sache versteht. Selbst ist überall der Mann!

9. **Bestimmung des Falls der Körper an der Oberfläche der Himmelskörper.** Wir wissen, daß ein Körper nahe der Erdoberfläche in der 1. Sek. 15 Fuß fällt; wie groß ist der entsprechende Fallraum auf den einzelnen Planeten? Diese Aufgabe läßt sich mit Hilfe der Attractionsgesetze sehr leicht lösen. Der Fallraum ist nämlich abhängig von der Masse des entsprechenden Himmelskörpers und von der Entfernung des fallenden Körpers vom Mittelpunkte desselben. Da beide Bestimmungen für die Sonne und alle Planeten bekannt sind, so hat die Rechnung keine Schwierigkeit.

Die Sonne z. B. hat einen Halbmesser von 96350 geogr. Mln. = 112 Erdhalbmessern, und 359551 mal so viel Masse als die Erde. An der Erdoberfläche fällt ein Körper in der 1. Sek. 15 Fuß; auf der Oberfläche der Sonne muß er deshalb $\frac{359551 \times 15}{112 \times 112} = \frac{5393265}{12544} = 429{,}947$ Fuß, d. i. 28,66 mal so viel fallen als auf der Erde. Wie verschieden von den irdischen Verhältnissen sich hiernach alles auf der Sonne gestalten muß, ist bereits näher ausgeführt worden.

Die Masse Merkurs ist $= \frac{1}{4316550}$ der Sonne und $= \frac{1}{12,5}$ der Erde. Sein Halbmesser, $= 335$ geogr. Mln., ist $\frac{1}{2,565}$ dessen der Erde; darum fällt an seiner Oberfläche ein Körper in der 1. Sek. $\frac{15 \times (2,565)^2}{12,5} = \frac{15 \times 6,579}{12,5} = \frac{98,68}{12,5}$ $= 7,9$ Fuß.

Noch geringer ist die Fallgeschwindigkeit auf dem Monde. Da seine Masse nur $\frac{1}{79,66}$ der Erde, sein Halbmesser von 234 geogr. Mln. nur $\frac{1}{3,67}$ des Erdhalbmessers ist, so ist der Fallraum in der 1. Sek. $= \frac{15 \times (3,67)^2}{79,66} = \frac{15 \times 13,469}{79,66}$ $= \frac{202,035}{79,66} = 2,53$ Fuß.

Auf die angegebene Weise ist man im stande, die Fallräume der Körper in der 1. Sek. für irgend einen Planeten, dessen Masse und Halbmesser im Verhältnis zur Erde bestimmt sind, zu berechnen, und dadurch zugleich das Verhältnis der Gewichte, Pendellängen etc. zu denen auf der Erde anzugeben.

Dritter Abschnitt.

Von den sogenannten Störungen.

Erstes Kapitel.

Von den Störungen im allgemeinen.

1. **Gegenseitigkeit der Anziehung.** Nach den *Kepler*schen Gesetzen bewegen sich alle Planeten in Ellipsen um die Sonne, und der geistreiche *Newton* hat die Ursache dieser Gesetze in der den Weltenbau beherrschenden allgemeinen Gravitation aufgefunden. Wenn man aber den wirklichen Lauf eines Planeten mit dem aus den *Kepler*schen Gesetzen berechneten vergleicht, so findet man nicht unbeträchtliche, ja zuweilen sehr merklich in die Augen fallende Abweichungen vom rein elliptischen Lauf; aber diese Abweichungen haben dazu gedient, die Herrschaft der Gravitationsgesetze bei allen Gliedern unseres Sonnensystems nachzuweisen und die herrlichsten, nicht geahnten neuen Entdeckungen zu machen, da sie die Thätigkeit und den Scharfsinn der Astronomen aufs lebhafteste angeregt haben. Es würden die Bahnen der Planeten und der um diese sich bewegenden Monde reine Ellipsen sein, wenn die Kraft anzuziehen gleichsam ein Privilegium der Sonne und, in Beziehung auf die Trabanten, des entsprechenden Hauptplaneten wäre. Die Anziehungskraft ist aber eine allgemeine, aller Materie innewohnende Kraft. Also nicht nur der Sonne, sondern auch jedem noch so kleinen Gliede des Systems ist Anziehung eigen, und alle üben sie nach Maßgabe ihrer Masse und der Quadrate der Entfernung auf jedes Glied des Systems. Es findet somit die vollständigste Gegenseitigkeit statt, und der jedesmalige Zustand des Systems ist die Folge der Wechselwirkung aller Glieder desselben unter einander. Wie in einer Familie die einzelnen Glieder derselben, in einem Staate die verschiedenen Stände auf einander wirken und an der Entwicklung der genannten Lebenskreise Antheil haben, indem sie Leben und Bewegung schaffen: so begründen auch die Sonne und die Planeten durch die von ihnen gegenseitig ausgeübte Kraft fortwährende Veränderungen und Bewegungen und schaffen so gleichsam »das Leben« des Systems. Es kann somit, streng genommen, kein Planet den Weg gehen, den er gehen würde, wenn die Sonne als Beherrscherin des Systems allein ihm denselben vorzeichnete; sondern jeder muß der Einwirkung jedes

andern Rechnung tragen und von dem rein elliptischen Wege mehr oder weniger abweichen oder, wie man zu sagen pflegt: »gestört« werden.

2. **Begriff der Störungen.** Man redet darum in der Astronomie von Störungen der Himmelskörper und meint damit ganz allgemein die Abweichung derselben vom rein elliptischen Lauf und auch wohl die aus dieser Abweichung sich ergebenden Veränderungen. Das Wort »Störung« kann indessen leicht zu falschen Vorstellungen Veranlassung geben, indem man dabei etwa an Verwirrung zu denken geneigt wäre. Verwirrung indessen richten jene Störungen im Planetensystem nicht an, so daß sie etwa für das Bestehen des ganzen Systems gefährlich würden, sondern sie scheinen, wie wir noch sehen werden, vielmehr dazu bestimmt zu sein, zu der Erhaltung des Ganzen beizutragen. Freilich stören sie die Einfachheit der Verhältnisse und der Rechnungen, und stellen den Astronomen Aufgaben, die vollständig zu lösen, vielleicht niemals menschlichen Kräften gelingen dürfte. Man kann eine Ahnung von der Schwierigkeit erhalten, wenn man bedenkt, daß der Ort und die Bahn eines Planeten das Resultat der Wirkung aller einzelnen Planeten ist. Wie viel verschiedene Stellungen sind aber zwischen allen diesen Körpern möglich? Dazu ändern sich dieselben fortwährend. Darum ist auch der Zustand des ganzen Systems in jedem Augenblick ein anderer, und dasselbe fortwährend bemüht, das Gleichgewicht zwischen den verschiedensten Kräften herzustellen. Man muß sich darum mit der genäherten Auflösung des Problems begnügen, und die Einrichtung des Planetensystems ist der Art, daß man sich damit begnügen kann.

3. **Wodurch die Berechnung der Störungen erleichtert wird.** Zur Vereinfachung der Rechnung tragen mancherlei Umstände bei, und zwar:

1) Die außerordentliche Größe des Centralkörpers; denn die Masse der Sonne übertrifft die aller Planeten noch mehr als 700mal. Sie beherrscht darum in der That das ganze System, und die Einflüsse der Planeten können sich nur in beschränktem Maße geltend machen. Sie verbleibt darum fast immer im Mittelpunkte des Systems, und nur selten fällt der gemeinsame Schwerpunkt desselben außerhalb der Sonnenoberfläche.

2) Die geringe Excentricität der Planetenbahnen erleichtert ebenfalls die Lösung des Problems, weil dadurch die Entfernung, ein Hauptfaktor der Störung, nur einem verhältnismäßig geringen Wechsel unterworfen ist.

3) Die geringe Neigung der Bahnen gegen die Ekliptik. Fielen die Bahnen aller Planeten mit der Ebene der Ekliptik zusammen, so wäre eine Verrückung der Bahnebenen unmöglich, und eine ganze Reihe von Störungen, die sich auf die Aenderung der Bahnebenen beziehen, würde nicht existiren. Indessen weichen die Planetenbahnen, und namentlich die der beiden Hauptstörer, Jupiters und Saturns, nur wenig von der Ebene der Ekliptik ab.

4) Die große Entfernung der Planeten von einander ist ein anderer Umstand, der die Rechnung der Störungen erleichtert. Je größer näm-

lich die Entfernung, desto geringer ist die Wirkung der Anziehungskraft. Weil sich Jupiter und Saturn sehr weit von den innern Planeten befinden, so sind die von ihnen auf diese ausgeübten Störungen nur gering und verschmelzen fast mit den auf die Sonne geübten.

5) Man kann die Störungen jedes Planeten einzeln berechnen. Weil die Störungen im allgemeinen nur klein sind, so ist es erlaubt, bei einem Planeten, dessen durch ihn bewirkte Störung man berechnen will, von denjenigen Störungen abzusehen, die er im Augenblicke der Rechnung selbst von andern erfahren hat, und ihn als in seiner rein elliptischen Bahn stehend anzusehen. Dadurch werden in der Rechnung immer nur 3 Körper berücksichtigt, nämlich die Sonne, der störende und der gestörte Planet, und so die Rechnung auf das Problem der 3 Körper zurückgeführt.

Aber auch in dieser Form hat die Aufgabe noch gar große Schwierigkeiten, die zwar zum größten Theil, aber doch immer noch nicht gänzlich überwunden sind.

4. **Nutzen der Störungsrechnungen.** Nun könnte jemand meinen: Wenn die Störungen doch nur unbedeutend sind, warum giebt man sich denn die große Mühe, sie zu berechnen? Darauf läßt sich antworten: Einmal hat die strenge Lösung eines so großen Problems einen rein wissenschaftlichen Werth. Durch sie ist ferner erst unwiderleglich die Richtigkeit der *Newton*schen Gravitationsgesetze dargethan worden; denn durch sie hat man auf rein theoretischem Wege Resultate gefunden, die der Beobachtung lange Zeit entgangen waren, aber endlich durch dieselbe vollständig bestätigt wurden. Durch Kenntnis der Störungen ist es erst möglich geworden, den Stand der Sonne, des Mondes und aller Planeten für irgend einen Zeitpunkt der Vergangenheit oder der Zukunft mit genügender Sicherheit zu berechnen und Sonnen-, Mond- und Planetentafeln zu entwerfen, mit deren Hilfe der Schiffer auf dem weiten Ocean sich orientiren und den Lauf seines Fahrzeuges sicher bestimmen kann; auch über den Zeitpunkt wichtiger geschichtlichen Ereignisse hat die Kenntnis der Störungen ein neues Licht verbreitet. Diese Kenntnis hat uns ferner über die Masse unserer Erde und der Planeten, sowie über die Größe der Abplattung unserer Erde belehrt, und ihr verdankt die Astronomie die Entdeckung eines neuen Planeten, des Neptun. Die genaue Bestimmung der Störungen hat uns endlich auch die Gewißheit verschafft, daß in der Einrichtung unsers Planetensystems nicht der Keim zur Vernichtung gelegt ist, sondern, soweit menschliche Einsicht reicht, die Bedingungen eines ungestörten Fortbestehens bis in undenkliche Zeiträume der Zukunft vorhanden sind. Dies sind Vortheile genug, um die mit Lösung der Aufgaben verbundenen Schwierigkeiten nicht zu scheuen, und da ferner die Betrachtung der Störungen einen tieferen Blick in die Einrichtung des Planetensystems und in das gesetzmäßige Walten der Anziehungskraft gewährt, so wollen auch wir diesem Gegenstande noch einige Aufmerksamkeit schenken.

5. **Periodische und säculare Störungen.** Wir verzichten dabei von

vorn herein auf eine wissenschaftliche Vollständigkeit und schließen natürlich auch die Rechnungen aus, die nur dem mit der höheren mathematischen Analysis Vertrauten verständlich sind. Nur die wichtigsten der Störungen sollen Gegenstand der Betrachtung sein, und wir wollen uns bemühen, wo es angeht, die Art der Entstehung derselben anzudeuten. Zuvörderst aber müssen zwei Arten von Störungen unterschieden werden. Durch die wechselseitige Anziehung der Planeten werden dieselben, wie schon angedeutet, aus ihrer elliptischen Bahn gezogen, und dadurch wird der Ort, an welchem der Planet gesehen wird, nach Länge und Breite mehr oder weniger geändert, zugleich aber auch ein Einfluß auf die Entfernung des gestörten Planeten von der Sonne und den andern Planeten ausgeübt. Da der Ort eines Planeten durch die gegenseitige Stellung der Planeten bedingt ist, diese Stellung aber nach einer gewissen Zeit wiederkehrt, so müssen auch die durch jene Stellung bewirkten Störungen regelmäßig wiederkehren, und darum hat man diese Störungen periodische genannt. Doch nicht nur der Ort, sondern auch die Bahnen der Planeten werden durch die Zusammenwirkung aller Glieder des Systems alterirt, und sowohl ihre Form und die damit zusammenhangende Excentricität, als auch die Größe, Neigung, Lage derselben etc. im Laufe der Zeiten verändert. Gingen diese Aenderungen bis ins Unendliche fort, so müßte dies zuletzt für das Bestehen des Systems gefährlich werden; die Rechnung indes zeigt, daß auch diese Störungen in langen Perioden ablaufen und wiederkehren; da aber diese Perioden Jahrhunderte, ja oft Jahrtausende umfassen, so hat man sie säculare Störungen genannt.

Zweites Kapitel.

Von den Störungen im einzelnen.

A. Periodische Störungen.

I. Von den Störungen des Mondes.

1. Kleine Störung der Erde, große Störung des Mondes. Sehr günstig ist in Beziehung auf die periodischen Störungen die Erde situirt; denn die ihr zunächst stehenden Planeten sind sämtlich nur klein und die Hauptstörer, Jupiter und Saturn, sehr weit von ihr entfernt; darum wird auch die elliptische Form der Erdbahn nur sehr wenig abgeändert, so daß sie von dem Ort, den sie nach dem 2. *Kepler*schen Gesetze einnehmen müßte, höchstens auf 40″, und in ihrer Entfernung von der Sonne kaum um den zehntausendsten Theil ihrer mittleren Entfernung abweichen kann. Anders dagegen ist es mit dem Monde. Zwar erfährt auch er, wie die Erde, von den nächststehenden Planeten nur unbedeutenden Einfluß, desto größer ist aber der, den die Sonne

wegen ihrer bedeutenden Masse auf ihn ausübt. Der Mond bewegt sich in einer ziemlich excentrischen Ellipse um die Erde oder, strenger genommen, um den gemeinsamen Schwerpunkt von Erde und Mond, der aber, wegen Kleinheit des Mondes, noch innerhalb der Erde fällt. Wegen dieser elliptischen Bahn muß seine Geschwindigkeit in verschiedenen Theilen derselben eine sehr verschiedene sein, und er weicht von dem Orte, den er einnehmen würde, wenn er seine Bahn mit gleichmäßiger Geschwindigkeit zurücklegte, volle 12 seiner Durchmesser, d. i. mehr als 6^0 ab. Diese Ungleichmäßigkeit regelt sich indes nach dem 2. *Kepler*schen Gesetze. Da aber der Mond bei seiner Bewegung um die Erde in ungleiche Entfernungen von der Sonne gelangt, außerdem auch die Richtung seiner Bewegung bald auf die Sonne zugekehrt, bald von ihr abgewendet ist, so werden dadurch der Ort, die Geschwindigkeit und die ganze Bahn des Mondes nicht unwesentlich verändert.

2. **Einfluß der Sonne auf den Mond.** Betrachten wir den Einfluß der Sonne auf den Mond erst ganz im allgemeinen, so ergiebt sich Folgendes: Steht der Mond beim Neumond gerade zwischen Sonne und Erde, so wird er, da er der Sonne näher steht als die Erde, stärker als diese von der Sonne angezogen: er wird sich also von der Erde entfernen. Steht dagegen beim Vollmond die Erde zwischen Sonne und Mond, so wird die Erde, weil der Sonne näher, stärker angezogen als der Mond, und das Resultat ist also wieder ein Wachsen der Entfernung des Mondes von der Erde. In den Vierteln ist die Entfernung des Mondes der der Erde gleich, beide werden also auch gleich stark zur Sonne gezogen; da aber dieser Zug nach dem Sonnenmittelpunkte, also in convergirender Richtung mit der den Mond- und Erdmittelpunkt mit dem Sonnenmittelpunkte verbindenden geraden Linie geschieht, so muß eine Annäherung des Mondes an die Erde die Folge sein; diese Annäherung ist aber, wie leicht einzusehen, geringer als jene Entfernung. Aus dem Gesagten ergiebt sich also: Durch die Einwirkung der Sonne wird im allgemeinen die Bahn des Mondes in der Richtung nach der Sonne hin langgezogen, in der senkrecht auf dieser stehenden Richtung aber zusammengedrückt. Da aber jene Vergrößerung bedeutender als diese Verkleinerung ist, so bleibt eine Vergrößerung der Bahn übrig, was wieder im allgemeinen eine Vergrößerung der Umlaufszeit und eine Verminderung der Geschwindigkeit des Mondes zur Folge haben muß. Die angedeutete Vergrößerung der Entfernung des Mondes beträgt etwa $^1/_{357}$ seiner mittleren Entfernung von der Erde oder c. 140 Mln., und die Verminderung der Geschwindigkeit etwa $^1/_{178}$ des mittleren Werthes. Hörte also die Sonne auf zu wirken, so würde der Mond sich der Erde um einige hundert Meilen nähern und dieselbe in kürzerer Zeit mit größerer Geschwindigkeit umkreisen.

3. **Die Evection.** Durch die beschriebene Aenderung der Bahn muß sich also für den Mond eine merkliche Aenderung seines rein elliptischen Laufes ergeben; seine Geschwindigkeit muß wegen der vergrößerten Entfernung in den Syzygien (Neu- und Vollmond) langsamer, in den Quadraturen hingegen schneller

sein, als sie nach dem 2. *Kepler*schen Gesetze sein könnte. Diese Unregelmäßigkeit im Mondlauf, wenn man so sagen darf, war schon dem *Ptolemäus* (130 n. Chr.), bekannt; denn sie beträgt 1°,27 oder über 2½ mal den scheinbaren Durchmesser des Vollmondes. Man nennt sie die Evection, und sie hat eine Periode von 31,8 Tagen. Doch ist die Sache nicht ganz so einfach, wie bisher angedeutet wurde; es kommt nämlich bei dieser Störung als ein wesentliches Moment noch die veränderliche Entfernung des Mondes von der Erde in betracht; denn die Störung eines Trabanten ist, ganz allgemein, um so größer, je größer seine Entfernung vom Hauptplaneten im Vergleich zu der Entfernung dieses von der Sonne ist, und umgekehrt. Es muß also auch die Lage der großen Achse der Mondbahn oder der Apsidenlinie einen Einfluß auf die Evection ausüben. Diese Linie ändert, wie wir bereits wissen, sehr rasch ihre Lage, und zwar jährlich um mehr als 40°. Fällt die Apsidenlinie mit den Syzygien zusammen, so wird sie nach dem Obigen verlängert oder die Excentricität der Mondbahn wird vergrößert; fällt sie dagegen in die Quadraturen, so wird die Bahn in der Richtung der kleinen Achse langgezogen, dieselbe also einem Kreise genähert nnd die Excentricität natürlich verkleinert. So finden also bei den beiden angenommenen Lagen der Mondbahn die Maxima und Minima der Störung statt.

4. **Die Variation.** Außer der Evection ist die merklichste Störung des Mondes die Variation. Es bringt nämlich die Verschiedenheit der Richtungen, in welchen sich der Mond um die Erde bewegt, eine Aenderung in seiner Geschwindigkeit und dadurch auch natürlich der Bahn hervor. Es erfährt nämlich der Mond in dem 2. Quadranten seiner Bahn, vom ersten Viertel bis zum Vollmond, weil hier Erde und Sonne ungefähr nach derselben Richtung wirken, so wie im 4. Quadranten, vom letzten Viertel bis zum Neumond, weil hier die Bewegung des Mondes mehr oder weniger nach der Sonne gerichtet ist, durch die Anziehungskraft der Sonne eine Beschleunigung, dagegen im 1. Quadranten, vom Neumond bis zum 1. Viertel, und im 3. Quadranten, vom Vollmond bis zum letzten Viertel, wegen der umgekehrten Verhältnisse eine Verzögerung seiner Bewegung. Dadurch wird die Bahn des Mondes in senkrechter Richtung auf die von der Erde zur Sonne gehenden Linie etwas langgezogen und die Länge des Mondes um 0°,65 geändert. Diese Aenderung, die am größten in den Octanten ist, eine Periode von 14,76 Tg., d. i. von einem halben synodischen Monat hat, wird die Variation genannt. In den Syzygien und in den Quadraturen verschwindet dieselbe, im ersteren Falle, weil die Störung in der Richtung der Erde und Sonne verbindenden Linie erfolgt, im letzteren, weil Erde und Mond eine gleiche Anziehung von der Sonne erfahren, und daher in beiden Fällen die Länge des Mondes nicht geändert werden kann.

5. **Die jährliche Gleichung.** Wie bei der Evection die Veränderlichkeit der Entfernung des Mondes von der Erde, so muß auch die veränderliche Entfernung der Erde von der Sonne auf den Lauf des Mondes von

Einfluß sein und eine nach einem Jahr sich wieder ausgleichende Störung zur Folge haben, die den obigen Namen hat. Von selbst ist klar, daß der Einfluß der Sonne auf den Mond um so bedeutender sein muß, je näher sie ihm ist, und daß derselbe um so geringer ausfällt, je weiter sie von ihm absteht. Am 2. Januar steht die Erde in der Sonnennähe, und am 2. Juli in der Sonnenferne. Darum muß vom 2. Januar bis zum 2. Juli wegen wachsender Entfernung der Sonne die eben besprochene Vergrößerung der Mondbahn immer geringer, vom 2. Juli bis zum 2. Januar hingegen, wegen abnehmender Entfernung der Sonne, immer bedeutender werden. Im ersteren Halbjahre wird darum die Umlaufszeit des Mondes immer kleiner, seine Geschwindigkeit immer größer werden, im letzteren Halbjahre wird dagegen die Umlaufszeit sich mehr und mehr verlängern und die Geschwindigkeit sich mehr und mehr verkleinern. Diese Unregelmäßigkeit im Mondlauf wird die jährliche Gleichung genannt. Durch dieselbe wird der Ort des Mondes um $0^0{,}19$ oder etwa $^1/_3$ seines Durchmessers verändert.

Da die Apsidenlinie der Erdbahn aber in ihrer Lage veränderlich ist, indem sie in c. 20900 Jahren einen Umlauf am Himmel vollendet, so muß dies wieder einen Einfluß auf die Periode der jährlichen Gleichung ausüben.

Dies sind die größten Störungen, welche der Mond erfährt, und die Betrachtung derselben wird schon haben erkennen lassen, wie complicirt der eigentliche Lauf des Mondes ist. Denn jede Störung ändert in eigenthümlicher Weise die rein elliptische Form der Mondbahn ab, und die wirkliche Form der Bahn ist nichts als das letzte Resultat aller der mannigfach verschlungenen Störungen. Wenn dessen ungeachtet es den Astronomen gelungen ist, den Stand des Mondes für irgend eine Zeit mit einer Genauigkeit zu berechnen, die fast nichts zu wünschen übrig läßt, so muß man Achtung vor einer Wissenschaft und den Männern gewinnen, die so herrliche Resultate zu Tage gefördert haben, und nicht weniger muß man über die Entwicklungsfähigkeit des menschlichen Geistes staunen, der jenes Labyrinth zu entwirren und an so schwachen Fäden sich darin zurechtzufinden gewußt hat.

6. **Störungen der Satelliten anderer Planeten.** Den periodischen Störungen des Mondes müssen auch die der Trabanten Jupiters, Saturns etc. ähnlich sein; zum Theil aber sind sie noch complicirter, da mehr als ein Mond diese Planeten umkreiset, und dieselben sich wieder gegenseitig stören. Die Störungen des Mondes sind somit noch sehr einfacher Natur; aber wegen der größeren Nähe der Sonne und der verhältnismäßigen Kleinheit der Erde erreichen dieselben einen größern Werth, als dies z. B. bei den Jupiters- und Saturns-Trabanten der Fall ist. Denn diese Planeten fesseln ihre Begleiter wegen ihrer großen Masse mit großer Kraft an sich und gestatten der weit entfernten Sonne nur einen geringen Einfluß. Aber vorhanden ist derselbe, und auf dem Wege der Beobachtung festzustellen. Wir gehen hier indessen auf diese Störungen nicht weiter ein, sondern betrachten:

II. Die periodischen Störungen der Planeten.

Wie alle periodischen Störungen, sind auch die der Planeten nur abhängig von ihrer gegenseitigen Stellung und Entfernung. Sie sind für die älteren Planeten fast alle genau berechnet und finden sich in dem großen Werke von *Laplace: Mécanique céleste.* Die besten Sonnentafeln sind von *Delambre* und *Carlini*, die besten Tafeln für Merkur, Venus und Mars von *Lindenau*, und die für Jupiter, Saturn und Uranus von *Bouvard* berechnet worden. Mit Hilfe derselben ist man im stande, den Ort eines der genannten Planeten mit ziemlicher Genauigkeit für irgend eine Zeit anzugeben. Was die Asteroiden betrifft, so hat der Einfluß der allgemeinen Störungen auf ihren Lauf wegen der verhältnismäßig kurzen Zeit der Bekanntschaft mit ihnen noch nicht für viele Jahre im voraus in Tafeln gebracht werden können, sondern man muß für jeden die speciellen Störungen berechnen, die er während eines Jahres erfährt, und dann, um für das nächst folgende Jahr den Lauf verfolgen zu können, durch inzwischen angestellte fleißige Beobachtungen so gut als möglich nachzuhelfen versuchen. Ja, bei einigen möchte diese Unvollkommenheit wegen der großen Excentricitäten und Neigungen der Bahnen wohl für immer bestehen bleiben. Nur für Flora, deren Bahn, der Marsbahn nahe, dem störenden Einflusse Jupiters am wenigsten ausgesetzt ist, sind die allgemeinen Störungen von Dr. *Brünnow* in Ann Arbor in Michigan bereits ziemlich vollständig berechnet worden. Hinsichtlich Neptuns gilt im allgemeinen das von den Asteroiden Gesagte: die genaueren Elemente seiner Bahn müssen erst noch durch eine ziemlich lange Reihe von Jahren hindurch fortgesetzte Beobachtungen sicherer als bisher bestimmt werden, ehe man daran gehen kann, für ihn Tafeln der allgemeinen Störungen zu entwerfen. Man berechnet für ihn auf ein Jahr die Störungen, welche namentlich Jupiter, Saturn und Uranus auf seine Bewegung ausüben, und berichtigt die Rechnungen durch direkte Beobachtungen. Für die Schiffahrt sind übrigens die Stellungen der Asteroiden und Neptuns, weil es sämtlich telescopische Himmelskörper sind, von geringem Interesse.

1. **Merkwürdige Störung Jupiters und Saturns.** Die merkwürdigsten aller periodischen Störungen finden zwischen Jupiter und Saturn statt, die trotz des unermüdlichsten Eifers vieler Astronomen lange Zeit hindurch nicht aus den *Newton*schen Gravitationsgesetzen hergeleitet werden konnten. *Halley*, ein Zeitgenosse *Newtons*, hatte nämlich durch Vergleichung der Umlaufszeiten der beiden genannten Planeten mit älteren Beobachtungen die merkwürdige Thatsache gefunden, daß zur Zeit *Hipparchs* die Umlaufszeit Jupiters kleiner, die Saturns hingegen größer gewesen sei, als zu seiner Zeit, oder daß Jupiters Geschwindigkeit zugenommen, die Saturns dagegen abgenommen habe. Diese Thatsache mußte befremden, da sie gegen das Gesetz zu verstoßen schien, wonach die mittlere Umlaufszeit jedes Planeten und, was damit zusammenhängt, die mittlere Größe der großen Achse der Planetenbahnen eine constante Größe ist. Verschiedene Astronomen, wie *Euler*, *Lagrange* etc., machten diese

merkwürdige Unregelmäßigkeit zum Gegenstande mühsamer Rechnungen, kamen aber zu keinem genügenden Resultate, so daß man geneigt war, die Entdeckung *Halley's* als auf einem Irrthum beruhend zu betrachten, zumal *Lambert* durch Vergleichung seiner eigenen Beobachtungen mit denen *Tycho's* zum entgegengesetzten Resultate gelangt war, daß nämlich seit *Tycho's* Zeit Jupiters Geschwindigkeit sich verringert, hingegen Saturns sich vergrößert habe. Erst *Laplace*, diesem großen Genie, gelang es, die Richtigkeit beider von *Halley* und *Lambert* gefundenen Thatsachen durch strenge Rechnung darzuthun und ihre Ursache als in der gegenseitigen Störung Jupiters und Saturns begründet nachzuweisen. Die mathematische Analysis nämlich zeigt, daß, wenn die Umlaufszeiten zweier sich störenden Planeten sich wie zwei ganze Zahlen verhalten, die Geschwindigkeit des einen sich in einer gewissen Periode vergrößern, die des andern aber verkleinern müsse. Nun verhalten sich die Umlaufszeiten Jupiters und Saturns nahezu wie 2 : 5 bis auf einen Unterschied von 145 Tg., und daraus ergiebt sich für beide Planeten die in 932 Jahren wiederkehrende entgegengesetzte Aenderung ihrer Geschwindigkeiten. Seit dem Jahre 1562 wird Jupiters Bewegung verzögert, Saturns dagegen beschleunigt; im Jahre 2027 werden die entgegengesetzten Verhältnisse eingetreten, und nach 456 Jahren wird wieder der Zustand von 1562 herbeigeführt sein. Diese merkwürdige Störung, die bei unaufhörlichem Wachsen in gleichem Sinne für das Bestehen des Systems gefährlich werden müßte, gleicht sich also, wie alle Störungen, im Laufe der Zeit aus.

2. **Die Störungen der inneren Planeten.** Die Störungen der inneren Planeten, durch Jupiter und Saturn erzeugt, gleichen im allgemeinen den beim Monde besprochenen, da diese Planeten im Verhältnis zur Entfernung Jupiters in nur kleiner Entfernung von der Sonne sich befinden, und Sonne und Merkur oder Venus, Jupiter gegenüber, in einem ähnlichen Verhältnisse stehen, wie Erde und Mond der Sonne gegenüber, nur mit dem Unterschiede, daß die von Jupiter bewirkten Störungen der genannten Planeten viel kleiner sind, als die von der Sonne beim Monde bewirkten. Am größten ist Jupiters Einfluß auf die Asteroiden, die in ihren sehr elliptischen und gegen die Ekliptik stark geneigten Bahnen sehr bedeutend abgelenkt werden.

B. Von den säcularen Störungen.

I. Säculare Störungen des Mondes.

1. **Bewegung der Knotenlinie des Mondes.** Beginnen wir auch hier wieder mit den Störungen des Mondes. Die Bahn des Mondes weicht bekanntlich von der Ekliptik um einen Winkel von $5^0,1$ ab, so daß also der Mond bald nördlich, bald südlich von der Ebene der Erdbahn steht. Da aber Sonne und Erde in der Ebene der Erdbahn stehen, so muß dies, wie leicht

einzusehen, nothwendig die Wirkung hervorbringen, daß sich der Mond der Ebene der Erdbahn zu nähern strebt. Wenn der Mond durch seine Geschwindigkeit und das Beharrungsvermögen diesem Zuge von Sonne und Erde nicht entgegenwirkte, so müßte die Folge davon sein, daß endlich die Mondbahn mit der Erdbahn zusammenfiele. Dies tritt aber nicht ein, sondern es macht sich nur ein Schwanken der Ebene der Mondbahn bemerklich, wodurch der obige Neigungswinkel bald kleiner, bald größer wird. Die mittlere Neigung der Bahn aber bleibt stets unverändert, und um diese schwankt die Bahn, wie ein Pendel um die Vertikale. Mit diesem Schwanken der Mondbahn ist aber noch eine andere Erscheinung verbunden; wenn nämlich der Mond auch nie ganz zur Ebene der Ekliptik herabgezogen werden kann, so erreicht er doch bei jedem Umlaufe die Ebene der Ekliptik und in dieser den entsprechenden Knoten etwas früher, als er ihn ohne die Einwirkung von Sonne und Erde erreicht haben würde, oder die Knoten rücken ihm gleichsam entgegen. Diese Aenderung in der Lage der Knoten und der Knotenlinie ist aber durchaus nicht gleichmäßig; denn es wirkt die Veränderlichkeit der Entfernung von Sonne und Erde darauf ein; außerdem ist sie in den Syzygien am größten und in den Quadraturen am kleinsten. Die rückläufige Bewegung der Knotenlinie setzt sich aus einer vorwärts und einer rückwärts gerichteten Bewegung zusammen; da aber der Rückgang das Vorrücken übersteigt, so bleibt ein Rückgang übrig, so daß die Knotenlinie allmählich die ganze Ekliptik gegen die Ordnung der Zeichen durchwandert. Es geschieht dies in 18 Jahren 218 Tg., so daß die jährliche Aenderung der Knotenlinie 19°,35 beträgt. Da die Knoten dem Monde entgegenrücken, so ist der drakonitische Monat, d. i. die Zeit, welche der Mond nöthig hat, um von einem Knoten zu demselben Knoten zurückzukehren, kürzer als der siderische Monat; er hat eine Dauer von 27 Tg. 5 Std. 5 Min. 36 Sek.

2. **Bewegung der Apsidenlinie.** Wir haben bei Besprechung der Evection schon gesehen, daß die Sonne gleichsam das Streben hat, die Mondbahn nach sich hin langzuziehen, und dies muß einen Einfluß auf die Lage der großen Achse der Bahn haben. Man sieht wohl ein, daß im allgemeinen die große Achse der Sonne folgen, sich also in der Reihenfolge der Zeichen fortbewegen wird, so daß die Bahn ihre große Achse allmählich den verschiedensten Punkten des Himmels zukehrt. Aber diese Aenderung ist wieder sehr unregelmäßig und aus Fort- und Rückschritt zusammengesetzt. Wenn nämlich die Apsidenlinie zur Sonne gerichtet ist, so geht, wenn das Perigäum der Sonne zugekehrt ist, die Apsidenlinie rückläufig, wenn das Apogäum nach der Sonne gerichtet ist, rechtläufig, und diese Bewegung ist die stärkere. Wenn aber die Apsidenlinie in die Quadraturen fällt, so ist die rückläufige Bewegung die größere. Das Resultat ist aber, wie schon gesagt, eine rechtläufige Bewegung der Apsidenlinie, und es beträgt dieselbe jährlich 40°,65, so daß nach 8 Jahren 310 Tg. 13 Std. 48 Min. 53 Sek. die Apsiden einen ganzen Umlauf vollendet haben. Perigäum und Apogäum rücken also dem Monde vor, und

darum ist der anomalistische Monat, d. i. die Zeit, welche der Mond nöthig hat, um vom Perigäum bis wieder zum Perigäum zu gelangen, länger als der drakonitische Monat; er hat eine Dauer von 27 Tg. 13 Std. 18 Min. 37,4 Sek. Die Bewegung der Knoten- und Apsidenlinie ist übrigens noch verwickelter, als wir bisher angedeutet haben; denn eine eigenthümliche Aenderung der Form der Erdbahn, durch welche dieselbe gegenwärtig sich immer mehr dem Kreise nähert, bringt in die Periode noch eine neue, Jahrtausende lange Periode hervor.

3. **Acceleration des Mondes.** Eine eigenthümliche Störung des Mondes, die den Astronomen große Mühe verursacht hat, ist die seiner mittleren Geschwindigkeit. Diese nämlich muß nach der Theorie vollständig unveränderlich sein; allein *Halley* fand durch Vergleichung der jetzigen Umlaufszeit des Mondes mit früheren, daß dieselbe schon seit vor Chr. Geb. immer kürzer, seine Geschwindigkeit also größer geworden sei, so daß er eine ähnliche Erscheinung wie Jupiter und Saturn zeigt. Allein auch hier fand *Laplace* die wahre Ursache der Erscheinung. Diese ist eine Folge der schon seit länger als 20000 Jahre andauernden Aenderung der Form der Erdbahn, die sich immer mehr der Kreisform nähert, so daß also ihre Excentricität kleiner wird. Dieses Kleinerwerden wird nach 24000 Jahren aufhören, um dann durch etwa 50000 Jahre einer Zunahme der Excentricität der Erdbahn Platz zu machen. Dann wird der Mond seine Geschwindigkeit wieder verringern. Uebrigens ist die jetzige Beschleunigung der Bewegung nur unbedeutend; denn sie beträgt kaum den hundertmillionsten Theil seiner mittleren Geschwindigkeit.

4. **Die Abplattung der Erde, aus den Störungen des Mondes berechnet.** Noch wollen wir einer eigenthümlichen Störung des Mondes erwähnen, weil sie den Astronomen die Mittel an die Hand giebt, die Abplattung der Erde unabhängig von Pendelbeobachtungen und Gradmessungen zu bestimmen.

Die Erde ist nämlich, wie wir wissen, eine an den Polen abgeplattete Kugel. Nun kann man zwar, wie *Newton* gezeigt, bei einer vollkommnen Kugel die gesamte Masse der Kugel im Mittelpunkt derselben vereinigt denken, nicht aber bei einer abgeplatteten; eine solche übt und erfährt in der Ebene des Aequators, oder in der Nähe derselben, eine stärkere, in der Richtung der Achse eine schwächere Anziehung als eine Kugel von gleicher Masse. Nun haben wir gesehen, daß die Mondbahn wegen Aenderung der Knotenlinie stets neue Lagen im Raume einnimmt. Dadurch kommt auch der Mond in stets neue Lagen zum Erdäquator, und allgemein läßt sich sagen, die Anziehung, die der Mond von der Erde erfährt, ist um so größer, je näher er der Ebene ihres Aequators steht. Wenn z. B. die Knoten der Mondbahn mit den Aequinoctialpunkten, und zwar der aufsteigende Knoten mit dem Frühlingspunkt zusammenfällt, so macht die Mondbahn den größten Winkel mit dem Aequator, einen Winkel, der gleich der Schiefe der Ekliptik + der Neigung der Mondbahn gegen dieselbe, $= 23^0{,}5 + 5^0{,}1 = 28^0{,}6$ ist. Liegt dagegen der aufsteigende Knoten

im Herbstpunkt, so ist der Winkel der Mondbahn zum Aequator 23°,5 — 5°,1 = 18°,4, und wenn die Mondknoten in den Solstitialpunkten liegen, so ist jener Winkel wieder ein anderer. Hierdurch muß die Wirkung der Anziehung der Erde Ungleichheiten zeigen, die sich in derselben Weise nach 18 Jahren 218 Tg. wiederholen, in welcher Zeit die Mondknoten einen ganzen Umlauf vollendet haben. Es wird dadurch nämlich eine geringe Schwankung der Ebene der Mondbahn hervorgerufen, und, wie schon gesagt, kann man diese Störungen des Mondes zur Bestimmung der Abplattung der Erde benutzen, und das gefundene Resultat stimmt vortrefflich mit dem auf andere Weise bestimmten überein. So gehen aus den Gravitationsgesetzen die herrlichsten Folgen hervor, und die mannigfach verschlungenen und verwickelten Störungen werden Veranlassung, zu neuen Wahrheiten zu gelangen. — Der Mond hat in der neuesten Zeit einen meisterhaften Berechner an dem berühmten *Hansen* gefunden, der Mondtafeln entworfen hat, die wahre Meisterstücke sind und der Schiffahrt die herrlichsten Dienste leisten werden.

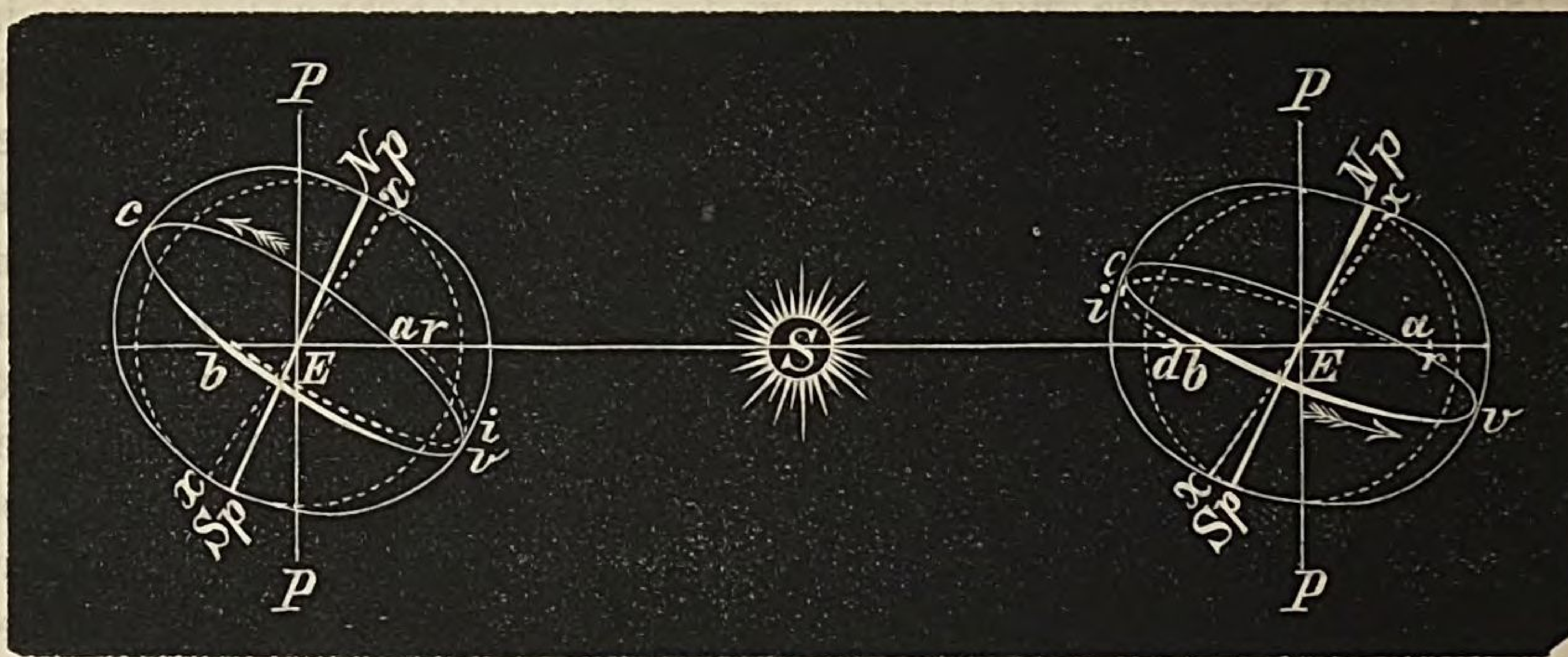
II. Die säcularen Störungen der Erde.

1. **Aenderung der Excentricität und Neigung der Erdbahn.** Eine der Störungen, welche die Erde erleidet, haben wir schon angedeutet, nämlich die Verkleinerung der Excentricität der Erdbahn. Sie ist das Resultat der Gesamtwirkung aller Planeten und hat eine Periode von über 50000 Jahren. Auch die Neigung der Erdbahn zum Aequator ist veränderlich. Diese Störung der Neigung beträgt in einem Jahrhundert 48″,37, ist aber ebenfalls in enge Grenzen eingeschlossen. Es verbindet sich aber diese durch die Planeten bewirkte Störung noch mit einer andern, die Sonne und Mond auf die abgeplattete Erde ausüben, nämlich mit der Präcession und Nutation.

2. **Präcession und Nutation** sind eigenthümliche, mit einander verbundene Störungen, welche die Erde wegen ihrer Abweichung von der reinen Kugelgestalt von der Sonne und dem Monde, vornehmlich aber von diesem letzteren erfährt. Wäre die Erde eine vollkommene Kugel von gleichmäßiger oder wenigstens symmetrischer Dichtigkeit, oder fiele die Ebene ihres Aequators mit der der Ekliptik zusammen, so würde die Anziehung, welche die einzelnen Theile zunächst von der Sonne erführen, sich symmetrisch nach allen Seiten der den Sonnen- und Erdmittelpunkt verbindenden geraden Linie, die wir kurz die Centrale nennen wollen, vertheilen, und die Erde würde deshalb keine Störung bei ihrer Bewegung um die Sonne erleiden. Anders muß sich die Sache wegen der sphäroidischen Gestalt der Erde sowie wegen der schiefen Stellung ihrer Achse zur Bahn und der dadurch bewirkten unsymmetrischen Vertheilung der Anziehung der Sonne auf die Erde gestalten.

Denken wir uns die Stellung der Erde am 21. Decbr. wie in nachstehender *Fig. 143* rechts von der Sonne in *S*. Da sich bei dieser Stellung der Nordpol von der Sonne abwendet, so liegt der stärkste Theil der Massenanhäufung um den Aequator herum, um welchen die Erde von der reinen Kugelform ab-

Fig. 143.



weicht, auf der der Sonne zugewandten Seite nördlich von der Centrale SE, welche zugleich die Lage der Ebene der Ekliptik bezeichnet, auf der der Sonne abgewandten Seite aber südlich davon. Auf den kugelförmigen, in der Figur punktirten Theil der Erde, dessen Durchmesser die Achse ist, wirkt die Sonne nicht störend, wohl aber auf die schalenförmige Massenanhäufung um den Aequator herum, dessen der Sonne nächster und fernster Punkt c und v sind. Beide Punkte sucht die Sonne zu sich zu ziehen, allein den ihr näheren Punkt c stärker als v, und zwar mit der Differenz der durch die verschiedene Entfernung bedingten Kraft. Es wird also in c die Neigung entstehen, zur Ebene der Ekliptik hinabzusinken, so den Aequator allmählich in diese Ebene zu bringen und dadurch die Erdachse senkrecht zu stellen. Dies würde auch geschehen, wenn die Erde nicht rotirte und die Achse durch die vereinte Wirkung der zu ihr senkrechten Centrifugalkräfte aller an der Rotation theilnehmenden Punkte nicht ein energisches Streben erhalten hätte, eine constante Richtung beizubehalten. Vermag daher die Sonne auch nicht die Neigung der Erdachse zur Bahnebene zu verändern, so zwingt sie doch diese Achse, eine kleine Schwenkung in einer der Rotationsrichtung entgegengesetzten Richtung zu machen und etwa die Stellung xx anzunehmen. Mit dieser Schwenkung ist aber nothwendig auch eine kleine Aenderung in der Lage des Aequators verbunden, da Achse und Aequator stets senkrecht auf einander bleiben müssen. Während z. B. ein Punkt des Aequators bei nicht eingetretener Störung über der Ekliptik den Weg acb gemacht haben würde, macht er nun in Wahrheit den Weg aid; der Durchschnittspunkt des Aequators mit der Ekliptik erreichte also die Ebene der Ekliptik etwas früher und ging ein wenig zurück. Ebenso muß bei fortgesetzter Rotation der Erde auch der entgegengesetzte Durchschnittspunkt etwas zurückweichen und etwa nach r rücken. Eine ganz ähnliche Bewegung der Durchschnittspunkte des Erdäquators mit der Ekliptik tritt auch am 21. Juni ein, in der Figur links von S, wo der der Sonne nächste Punkt der äquatorialen Anschwellung, v, südlich, der fernste, c, nördlich von der Ekliptik liegt. Da jetzt v eine stärkere Anziehung als c erfährt, so

tritt eine ähnliche Schwenkung der Erdachse ein, und der Punkt *b* des Aequators legt nicht den Weg *bva*, sondern *bir* zurück, erreicht also den Durchschnittspunkt mit der Ekliptik ebenfalls ein wenig früher. In diesen beiden Stellungen der Erde, also in den Solstitien, ist aber das Zurückweichen jener Durchschnittspunkte am schnellsten, da der Winkel der Centrale mit der Aequatorebene am größten ist. Bei der Annäherung der Erde zu den Stellungen, die sie in den Aequinoctien einnimmt, wird dieser Winkel immer kleiner, bis er in den Aequinoctien selbst = 0 ist, da die Centrale ganz in die Aequatorebene fällt. Darum hört nun für kurze Zeit die Störung auf, um sich später, bei der Annäherung der Erde an die Solstitien mehr und mehr wachsend, wieder geltend zu machen. Weichen aber so die Durchschnittspunkte des Erdäquators mit der Ebene der Ekliptik mehr und mehr zurück, so müssen auch, da die Lage des Erdäquators die des Himmelsäquators bestimmt, die Aequinoctialpunkte zurückweichen. Den bis jetzt betrachteten Antheil der Sonne an diesem Zurückweichen nennt man die Solar-Präcession der Nachtgleichen.

In ähnlicher Weise wirkt auch der Mond auf die abgeplattete Erde störend ein. Diese Wirkung ist aber fast 3 mal so stark als die der Sonne, da die Entfernung der Punkte *c* und *v* der 400 mal so kleinen Entfernung des Mondes von der Erde gegenüber weit beträchtlicher ist, als im Verhältnis zum Abstande der Erde von der Sonne. Ginge der Mond ebenfalls in der Ekliptik einher, so würde er für sich allein eine ähnliche, nur stärkere Veränderung in der Lage der Erdachse und dadurch eine Verschiebung der Durchschnittspunkte der Ebene des Erdäquators mit der der Ekliptik hervorbringen, die aber eine Periode von einem synodischen Monat hätte. Beide Störungen, in dieser Weise vereinigt, zwingen die Erdachse in dem Mantel eines Kegels einherzugehen, dessen Achse die Achse der Ekliptik *PP* wäre, wie dies bereits S. 493 näher ausgeführt worden ist. — Allein so einfach ist die Sache nicht; denn die Mondbahn weicht von der Ekliptik um einen Winkel von c. 5⁰,1 ab, und außerdem rückt die Knotenlinie in 18 Jahren 218 Tagen gegen die Ordnung der Zeichen, also rückläufig in der Ekliptik herum. Hierdurch wird der Winkel, welchen die Mondbahn mit der Ebene des Erdäquators macht, ein sehr verschiedener. Wie wir bereits früher gesehen haben, schwankt derselbe zwischen 18⁰,4 und 28⁰,6. Dieser Umstand macht die Wirkung des Mondes auf die abgeplattete Erde sehr verwickelt; bald vermehrt, bald vermindert er die Wirkung der Sonne und macht die schon ungleichmäßige Solar-Präcession (wir haben in dem Bisherigen noch nicht einmal an die veränderliche Entfernung der Erde von der Sonne gedacht) zu einer noch unregelmäßigeren. Durch den veränderlichen Winkel der Mondbahn mit dem Erdäquator wird ein etwa alle 19 Jahre in ähnlicher Weise wiederkehrendes Schwanken der Erdachse, die Lunar-Nutation hervorgebracht, durch welche die Neigung dieser Achse bald ein wenig vergrößert, bald verkleinert und die letztere gezwungen wird, aus dem Mantel jenes Kegels ein wenig hinauszutreten. Daß auch die Bewegung der Apsidenlinie der Mondbahn von einigem Einfluß ist, mag nur angedeutet werden.

Zu allem diesen kommt endlich noch der Einfluß der Planeten hinzu, die ebenfalls bestrebt sind, die Ebene des Erdäquators zur Ebene ihrer Bahn herabzuziehen. Wie ungleichmäßig unter allen diesen Verhältnissen die Bewegung der Aequinoctialpunkte ausfallen muß, und welcher Scharfsinn dazu gehört, diese verschiedenen Einflüsse von einander zu sondern und jeden auf seinen wahren Werth zurückzuführen, wird aus dem oben gegebenen Versuch einer Erklärung der complicirten Erscheinung der Präcession und Nutation verständlich geworden sein. Ohne die herrlichen Entdeckungen *Newtons* wäre die Lösung einer solchen Aufgabe unmöglich gewesen. Die Gesamtwirkung von Sonne und Mond bewirkt in einem Jahrhundert ein Zurückweichen des Frühlingspunktes von 5038″,54, und da die Planeten diese Größe in derselben Zeit gegenwärtig um 16″,44 vermindern, so bleiben als säculare rückläufige Bewegung des Frühlingspunktes 5022″,1 übrig, woraus sich die jährliche Aenderung zu 50″,221 ergiebt. Diese Größe ist aber nicht immer die gleiche, sondern, da sich die Größe der planetarischen Störung im Laufe der Zeit vermehren und vermindern kann, in engen Grenzen veränderlich. Für eine bestimmte Epoche sucht man den mittleren Ort des Frühlingspunktes zu bestimmen, zu dessen beiden Seiten die mannigfachen Schwankungen vor sich gehen. Bekanntlich ist ein tropisches Jahr verflossen, wenn die Sonne wieder zum Frühlingspunkt zurückgekehrt ist. Wegen der schwankenden Bewegung dieses Punktes ist die Dauer desselben Aenderungen unterworfen, die nicht ganz unbeträchtlich sind. Für 1850 war die Dauer desselben = 365 Tg. 5 Std. 48 Min. 47,8091 Sek.; aber während des nächsten Jahrhunderts wird es immer kürzer, bis es im Jahre 7600 n. Chr. seine kürzeste Dauer von 365 Tg. 5 Std. 48 Min. 8,83 Sek. haben wird. Diese Ungleichheit der Dauer des tropischen Jahres muß bei den Einschaltungen, von denen S. 197 geredet worden, berücksichtigt werden, wenn der Kalender mit der Sonne in Uebereinstimmung bleiben soll.

III. Säculare Störungen der übrigen Planeten.

Kein Planet geht ungestört seinen Weg. Die meisten Elemente der Bahnen, die Excentricitäten, die Neigungen zu einander und zur Ekliptik, die Knoten- und Apsidenlinien unterliegen der Veränderung; aber alle Veränderungen kehren nach Jahrtausenden und Hunderttausenden von Jahren periodisch wieder. Die Knoten- und Apsidenlinien zeigen jedoch nicht immer Schwankungen, sondern bewegen sich bei manchen Planeten für immer rechtläufig oder rückläufig durch den ganzen Umkreis der Bahnen. Kein Planet geht ferner in der Ellipse einher, die er nach den *Kepler*schen Gesetzen durchlaufen müßte, weil er beständig daraus abgelenkt wird. Diese Ellipsen werden aber stets durch Rechnung bestimmt, um die Störungen der Planeten, indem man ihren wahren beobachteten Ort mit dem berechneten vergleicht, sich anschaulicher zu machen.

1. **Bewegung der Knotenlinien.** Wenn die Bahnen zweier Planeten einen Winkel mit einander machen, so suchen die Planeten einander zu der

Ebene ihrer Bahn herabzuziehen; dies hat zur Folge, daß jeder Planet die Ebene der Bahn des störenden Planeten oder die Knoten der Bahn früher erreicht, als dies ohne die Störung geschehen wäre. Darum läßt sich sagen, daß die Knotenlinien der Planetenbahnen im allgemeinen rückläufig sind. Dies gilt indessen nur, wenn man die Bahnen zweier sich störenden Planeten auf einander bezieht. Nun pflegt man aber die Bahnen aller Planeten auch auf die Ebene der Ekliptik zu beziehen, die ja selbst keine ganz feste Lage hat, und nennt die Durchschnittslinien der Planetenbahnen mit der Ebene der Ekliptik auch die Knoten. Diese Knoten haben nicht immer eine rückläufige Bewegung, sondern sind bald recht-, bald rückläufig. Aber diese Bewegungen sind in bestimmte Grenzen eingeschlossen, die nie überschritten werden. So schwankt Jupiters aufsteigender Knoten zwischen 90 und 117, und Saturns zwischen 72 und 136 Grad der Länge. Bei ihnen macht also die Knotenlinie keinen ganzen Umlauf am Himmel, und ist daher der Neigungswinkel der Bahnen nicht allen Punkten des Himmels zugekehrt, wie dies z. B. bei der Mondbahn der Fall ist.

2. **Aenderung der Neigungen.** Auch die Neigungen der Planetenbahnen zu einander, und darum auch zur Ekliptik, sind säcularen Aenderungen unterworfen; doch sind diese Schwankungen der Ebenen der Bahnen nur sehr gering; denn sie betragen in einem Jahrhundert höchstens 20 und einige Bogensekunden. Durch diese letztere und die vorige Störung wird die Lage der Planetenbahnen im Raume verändert; aber auch mit den Ebenen der Bahnen selber gehen noch mancherlei Veränderungen vor sich.

3. **Aenderung der Apsidenlinien.** Wie die Apsidenlinie der Mondbahn allmählich einen ganzem Umlauf am Himmel vollendet, so auch die aller Planeten, und die Aenderung dieser Linien ist unter den säcularen Störungen die einzige, die nicht in bestimmte Grenzen eingeschlossen ist, sondern volle 360° betragen kann. Außerdem ist die Bewegung der Apsiden bei allen Planeten rechtläufig und beträgt in einem Jahrhundert c. 5 bis 7000″.

4. **Aenderung der Excentricitäten.** Doch nicht nur die Lage, sondern auch die absolute Länge der Apsidenlinie ist veränderlich, weil die Excentricitäten aller Planetenbahnen geringen Schwankungen unterliegen. Merkwürdig ist, daß, wenn die Excentricität der einen Planetenbahn infolge einer Störung wächst, die der Bahn des störenden Planeten abnimmt. Wenn aber diese Störung nicht in enge Grenzen eingeschlossen wäre, so würde daduch das Bestehen der etwa auf den Planeten existirenden organischen Wesen sehr gefährdet sein. Denn mit Aenderung der Excentricität ist eine Aenderung in der größten und kleinsten Entfernung der Planeten von der Sonne verbunden, und wäre diese Aenderung sehr bedeutend, so könnten die Wärmeverhältnisse auf den einzelnen Planeten sich so gestalten, daß dadurch der Tod vieler Wesen bedingt wäre. Allein, wie die mathematische Analysis zeigt, ist von dieser Störung für die Folge nichts zu fürchten; denn die Aenderung der Entfernung von der Sonne beträgt in runden Zahlen z. B. für:

Merkur	nur	200	geogr.	Meilen,
Venus	»	1000	»	»
Erde	»	1300	»	»
Mars	»	8000	»	»
Jupiter	»	170000	»	»
Saturn	»	800000	»	»
Uranus	»	300000	»	»

und dies sind nur geringe Werthe, wenn man dieselben mit der mittleren Entfernung der Planeten von der Sonne vergleicht.

IV. Von den Störungen der Kometen.

1. **Große Störungen der Kometen.** Wir können diesen Abschnitt von den Störungen nicht schließen, ohne noch einige Worte über die Störungen mitgetheilt zu haben, die diese leicht gewebten, räthselhaften Weltkörper von den Planeten erfahren. Sie besuchen verhältnismäßig selten unser Sonnensystem; allein viele derselben nehmen bleibende Eindrücke ihres Besuchs auf ihre langgestreckten, einsamen Bahnen mit. Denn groß ist die Einwirkung, die Kometen von den Planeten erfahren; doch ist diese Einwirkung nicht etwa darum so beträchtlich, weil die Kometen den Planeten gegenüber eine so geringe Masse haben, sondern weil ihre Bahnen so gestellt sind, daß sie vielen Planeten verhältnismäßig sehr nahe kommen können. Die Größe der Störung, die ein Körper von einem andern erleidet, ist nämlich von der Masse des gestörten Körpers unabhängig und nur durch die Masse und Entfernung des störenden bedingt. Anders freilich würde sich die Sache verhalten, wenn etwa ein Komet auf einen Planeten herabstürzte. In diesem Falle wäre die Wirkung des fallenden Körpers auf die Unterlage von seiner Masse abhängig. Denn wenn in einem luftleeren Raume z. B. eine Flaumfeder und eine Bleikugel auch gleichschnell fallen, so wird doch die Bleikugel mit größerer Kraft auf den Boden schlagen, weil sie mehr Masse hat als die Feder.

2. **Die Störungen der Kometen, ein Mittel zu Massenbestimmungen.** Den Störungen der Kometen verdanken wir schon manchen Aufschluß über die Massen der Planeten, und die Massenbestimmung der kleinen, mondlosen Planeten Merkur und Mars, die auf ihre Nachbarplaneten nur einen sehr unbedeutenden Einfluß ausüben, ist fast nur durch Störungen von Kometen, die ihnen nahe kamen, möglich geworden. So hat der *Encke*sche Komet, der 1835 und 1848 dem Merkur nahe gekommen war, die Berichtigung der stets zu groß angenommenen Merkurmasse möglich gemacht, und wird noch ferner dazu beitragen. *De Vico's* Komet, dessen Bahn so liegt, daß er dem Mars sehr nahe kommen kann, wird die genauere Bestimmung der Masse dieses Planeten ermöglichen, und der gänzlichen Unbekanntschaft mit den Massenverhältnissen der Asteroiden werden auch nur Kometen ein Ende machen, die im Laufe der Zeit diesen kleinen Körpern nahe kommen; freilich müßte diese

Annäherung wegen der geringen Masse der Planetoiden eine sehr bedeutende sein, wenn die verursachte Störung durch die Beobachtung nachweisbar sein soll.

3. **Merkwürdige Störung des Lexellschen Kometen.** Die großartigste Störung hat, so weit bekannt, der S. 409 besprochene *Lexell*sche Komet wiederholt durch Jupiter, und zwar besonders 1767 und 1779 erfahren. Es ward dabei seine Bahn gänzlich verändert, so daß er durch diese Aenderung, die ihr Ende noch lange nicht erreicht hat, gänzlich aus dem Gesichtskreis der Erde gezogen und der Spielball Jupiters geworden ist..

Es ist wahrscheinlich, daß die Kometen von kurzer Umlaufszeit durch die Störungen der Planeten ihre kurzen Bahnen erhalten haben. So kommt z. B. der *Brorsen*sche Komet der Bahn der Venus und Jupiters, der *Faye*sche der des Mars und Jupiters, und *De Vico's*, *Biela's* und *Encke's* Komet der des Mars, der Erde und Merkurs ziemlich nahe.

4. **Geringe Masse und Dichtigkeit der Kometen.** Daß die Kometen eine außerordentlich geringe Masse haben, geht aus den geringen Störungen hervor, die sie auf die Planeten ausüben, denen sie nahekommen. So hat der *Lexell*sche Komet, trotzdem daß er zwischen den Bahnen der Jupitersmonde hindurchging, diese und Jupiter durchaus nicht merklich abgelenkt, wie bereits S. 410 gesagt worden; auch ist daselbst der geringen Dichtigkeit des Kometen Erwähnung gethan. Allein trotz der Unbedeutenheit der Kometen hinsichtlich der Masse scheinen diese räthselhaften Himmelskörper, welche der Aberglaube lange Zeit hindurch als Zuchtruthen der Völker ansah und fürchtete, vielmehr dazu bestimmt zu sein, unsere Kenntnisse über die Größe der im Planetensysteme wirksamen Kräfte zu erweitern und das Licht der Wahrheit über Dinge zu verbreiten, die zu erforschen bisher dem Fleiße der Astronomen nicht gelungen ist.

Drittes Kapitel.

Von der Ebbe und Flut.

I. Ebbe und Flut des Oceans.

Eines der interessantesten Phänomene, welche der weite Ocean uns darbietet, sind die Gezeiten oder Ebbe und Flut. Sie fesseln den Beschauer immer von neuem und erhöhen den Reiz, welchen der weite Ocean auf das menschliche Gemüth auszuüben im stande ist. Sie gehören, wie die wechselnde Wellenbewegung, in der das Meer das namentlich durch die Einwirkung des Windes gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen unablässig bemüht ist, mit zu dem Leben des Oceans, und übertreffen an Großartigkeit jene Wellenbewegung

bei weitem. In ihnen sieht man die Wirkung der Anziehungskraft deutlich vor Augen und hat nicht erst nöthig, durch mühsame Berechnung und angestrengte Beobachtung von ihrem Vorhandensein sich zu überzeugen. Wir sehen in dieser großartigen Erscheinung ebenfalls eine Störung des Gleichgewichts, und zwar eine Störung der sphäroidischen Gestalt der Erde, und darum findet die Besprechung derselben in diesem von den Störungen handelnden Abschnitte eine passende Stelle. Wegen des Jnteresses aber, welches das Phänomen gewährt, widmen wir ihm ein besonderes Kapitel. Ehe wir zu den Ursachen der den Alten räthselhaften Erscheinung übergehen und die Art ihrer Entstehung zeigen, wollen wir zuvor den Verlauf derselben, und zwar erst in großen Zügen und darauf specieller betrachten, um auf diese Weise von selbst auf jene Ursachen hingeführt zu werden.

1. **Beschreibung des Phänomens im allgemeinen.** Steht man an dem Ufer eines offenen Meeres, so bemerkt man bei einiger Aufmerksamkeit im Laufe eines ganzen Tages ein zweimaliges, regelmäßig wiederkehrendes Sinken und Steigen des Meeres. Man gewahrt, wie beim Sinken an Flachküsten das Meer sich weiter und weiter vom Ufer zurückzieht und allmählich einen nicht unbedeutenden Theil des Meeresgrundes sichtbar werden läßt. An Steilküsten hingegen sieht man den Spiegel des Meeres tiefer und tiefer hinabsinken, und manche verborgene Felsenklippe wird sichtbar, um ihren glatten, schlüpfrigen Scheitel an der Luft und den Strahlen der Sonne zu trocknen. Dieses Zurückweichen des Meeres, welches man Ebbe nennt, währt etwa 6 Stunden. Nachdem das Meer kurze Zeit in seinem tiefsten Stande (*basse mer*) vesharrt ist, sieht man das Wasser wieder ans Land dringen, um höher und höher steigend von dem ihm gehörenden Gebiete wieder Besitz zu nehmen. Anfangs geschieht diese rückläufige Bewegung langsam; doch bald sieht man jede folgende Welle höher hinauf auf den Strand schlagen und an der Steilküste merklich emporsteigen, bis das Wasser nach Verlauf von wieder 6 Stunden den höchsten Stand als Hochmeer (*haute mer*) erreicht hat. Dieses 6stündige Steigen der Gewässer nennt man die Flut, die dann in angegebener Weise, anfangs langsam, aber allmählich schneller und schneller wieder in die Ebbe übergeht. Auf diese Weise ereignen sich in einem Tage zwei Ebben und zwei Fluten. Man pflegt die Höhe der Flut durch die halbe Summe zweier nächsten Hochmeere über dem Niveau der zwischen ihnen liegenden tiefsten Ebbe zu bestimmen, und nennt die so gefundene Höhe die Totalflut. Die Bestimmung derselben ist für Küstenlandschaften von Wichtigkeit, weil sich darnach die Bauten richten müssen, die man zum Schutze gegen das Wasser anzulegen gezwungen ist. Dies ist der Verlauf der Erscheinung in ganz großen Zügen.

2. **Speciellere Betrachtung der Erscheinung.** Achtet man aber genauer auf dieselbe, und namentlich zunächst auf die Zeit, welche zwischen zwei entsprechenden Tages- oder Nachtfluten vergeht, so findet man dafür eine Zeit von 24 Std. 50 Min., so daß also am folgenden Tage die entsprechende

Flut sich um etwa 50 Min. gegen die des vorigen Tages verspätet, und demnach zwischen zwei zunächst folgenden Fluten eine Zeit von 12 Std. 25 Min. vergeht, jede Ebbe und jede Flut für sich allein also eine Dauer von 6 Std. 12½ Min. hat. Bei **sehr** sorgfältiger Beobachtung findet man freilich kleine Abweichungen von dem Gesagten; nimmt man indessen einen monatlichen Durchschnitt, so ergiebt sich obiges Resultat. Man bemerkt also für die Erscheinung zunächst eine **tägliche** Periode von 24 Std. 50 Min. Dies aber ist, wie wir uns erinnern, gerade die Zeit, welche der Mond gebraucht, um von einer Culmination bis zur andern zu gelangen, und bei einiger Aufmerksamkeit bemerkt man, daß die Zeit des Hochmeers (für den offenen Ocean) sehr nahe mit der oberen und unteren Culmination, die Zeit der tiefsten Ebbe hingegen nahezu mit dem Auf- und Untergange des Mondes zusammenfällt. Hat man die Beobachtung wenigstens einen ganzen Monat lang fortgesetzt, so findet man einen Unterschied in der Höhe der Flut. Sie ergiebt sich am größten einige Tage nach dem Neu- und Vollmonde, und am geringsten zur Zeit der Mondviertel; erstere Fluten heißen Springfluten, diese Nippfluten. In dem Verlauf der Erscheinung ist also auch eine monatlliche Periode zu unterscheiden, die der Dauer des synodischen Monats von 29½ Tg. gleich ist.

Eine fortgesetzte Beobachtung läßt ferner erkennen, daß auch im Laufe eines Jahres manche regelmäßig wiederkehrende Veränderungen in der Größe der Ebbe und Flut stattfinden. So sind die zur Zeit der Nachtgleichen eintretenden Fluten und Ebben größer, als die zu andern Zeiten des Jahres beobachteten, und zwischen den Winter- und Sommerfluten findet ebenfalls ein Unterschied statt, indem die letzteren stets kleiner als die ersteren sind. Es giebt sich also auch eine jährliche Periode in den Gezeiten kund, und bei fortgesetzter, noch genauerer Prüfung würden sich auch noch Perioden von längerer Dauer nachweisen lassen, die wir hier indessen übergehen wollen. Aber nicht nur die Zeit, auch der Ort bedingt Unterschiede im Verlauf der Erscheinung.

So findet eine vollständige Entwicklung derselben nur in offenen, großen Meeren statt; in Binnenmeeren ist sie kaum zu bemerken oder doch nur unbedeutend. Das Caspische Meer und die Ostsee haben fast keine, das Mittelmeer nur eine unbedeutende Ebbe und Flut, weil das umgebende Land die freie Bewegung des Wassers hindert. Außerdem macht auch die geogr. Breite einen Unterschied. In dieser Beziehung sind Ebbe und Flut im allgemeinen am größten am Aequator; mit zunehmender Breite nimmt ihre Größe ab, und in c. 65° geogr. Breite sind sie meist gänzlich verschwunden.

Dies ist der Verlauf der Gezeiten; welche Ursachen aber rufen dieselben hervor?

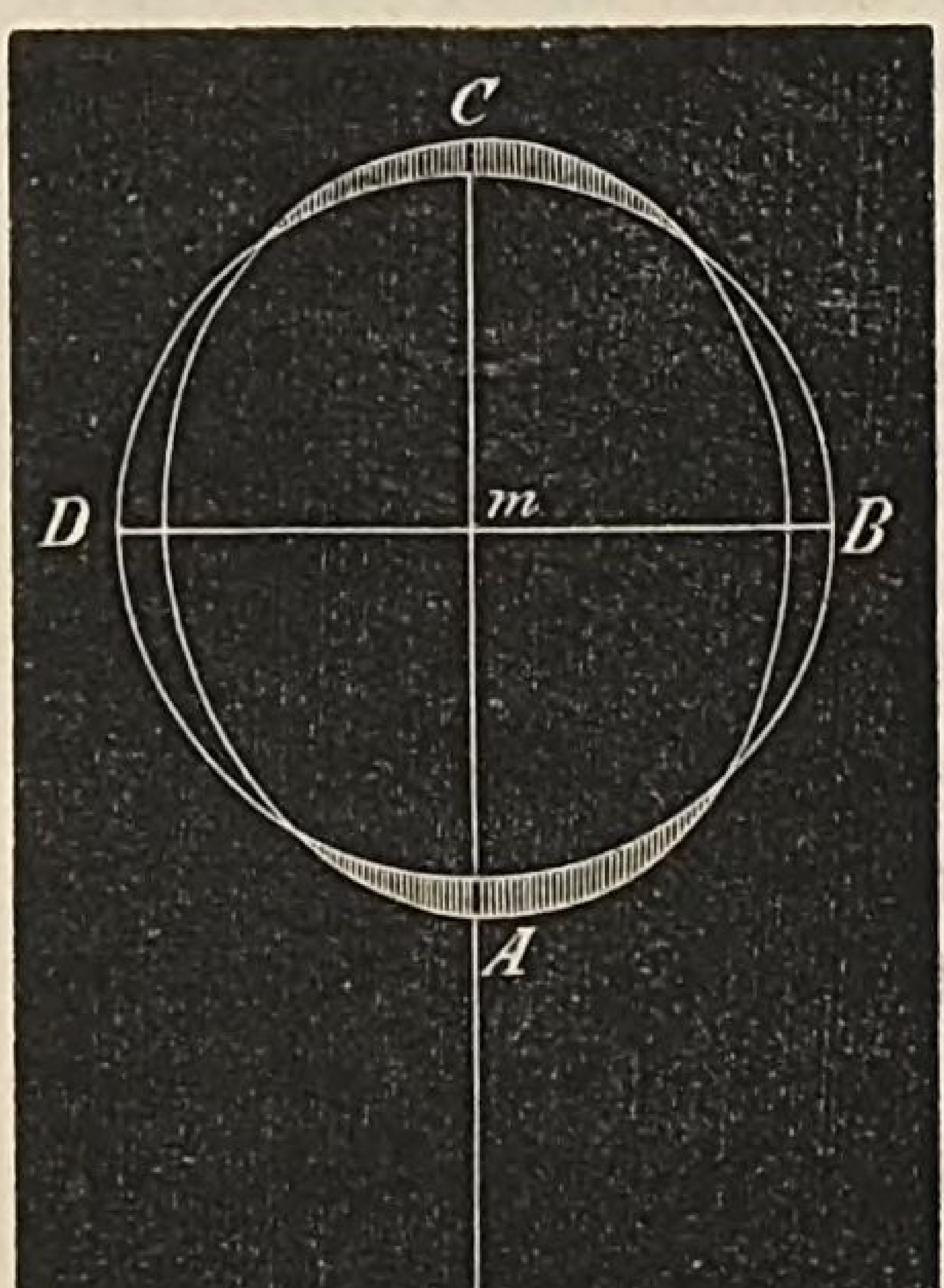
3. **Erklärung des Phänomens.** Es hat lange gewährt, ehe man auf diese Frage die richtige Antwort zu geben vermochte, und selbst *Newton* ist es, obwohl er die richtigen Ursachen erkannt hatte, nicht gelungen, alle diejenigen Formeln zu entwickeln, durch welche die Erscheinung vollständig

erklärt wird. Erst der große *Laplace* verbreitete auch über diese, wie über so viele Erscheinungen, das rechte Licht und hat Formeln aufgestellt, durch welche man für alle Neu- und Vollmonde die Höhe der Flut berechnen kann.

Die oben gegebene Darstellung des Sachverhaltes zeigt schon deutlich, daß Ebbe und Flut mit der Bewegung des Mondes und der Sonne zusammenhangen, und in der That bewirken diese beiden Himmelskörper gemeinschaftlich, vornehmlich aber der Mond, den Verlauf der Erscheinung. Mond und Sonne ziehen jedes Massentheilchen der Erde an, und wir haben bereits gelernt, durch eine einfache Rechnung das Verhältnis der Anziehung beider Körper zu bestimmen. Da die Masse der Sonne 359551 mal so groß ist als die der Erde, diese aber etwa 80 mal so viel Masse als der Mond besitzt, so übertrifft die Masse der Sonne die des Mondes $359551 \times 80 = 31764080$ mal; aber mit dieser Masse wirkt die Sonne in 400 mal so großer Entfernung als der Mond, und darum verhält sich die von ihr auf die Erde geübte Anziehungskraft zu der des Mondes $= \frac{31764080}{400 \times 400} : 1$ oder $= 198{,}52 : 1$. Die Erde erfährt von der Sonne also eine weit größere Anziehung als von dem Monde.

Aber die absoluten Größen der Anziehung sind es nicht, welche Ebbe und Flut erzeugen, sondern die Differenz der Anziehung, mit welcher auf die nächsten und fernsten Theile der Erde durch Sonne und Mond gewirkt wird.

Fig. 144.



Es sei, *Fig. 144*, Kreis *ABCD* ein Meridian-Durchschnitt der Erde und *M* der auf sie wirkende Mond. Für *A* wird der Mond im Zenith, für *C* im Nadir stehen; allen Oertern auf *DAB* aber wird er in der oberen, denen auf *BCD* in der unteren Culmination stehen. Für *B* und *D* hingegen wird er im Horizonte, auf- oder untergehend, gesehen werden. Da die Anziehungskraft im umgekehrten Verhältnis mit den Quadratzahlen der Entfernung steht, so muß der Punkt *A*, der dem Monde am nächsten ist, am stärksten, der Punkt *C*, als der fernste, am schwächsten angezogen werden, während Punkt *B* und D etwa eine gleiche Anziehung mit dem Mittelpunkte *m* erfahren. Jedenfalls ist durch die verschiedene Stärke der Anziehung für verschiedene Punkte der Erde das Gleichgewicht gestört, und die Erde muß, um es wieder herzustellen, ihre Form ändern. Wirkte die der Erde innewohnende Anziehungskraft allein auf ihre Theile, so würde sie dieselben in vollkommener Kugelgestalt um ihren Mittelpunkt gruppiren (von der durch die Rotation entstandenen Schwungkraft abgesehen). Zöge der Mond allein die

Theile der Erde an sich, so müßte diese zum Monde fallen. Da aber der Mond die ihm nächsten Theile bei *A* stärker, die ihm fernsten Theile bei *C* schwächer anzieht als den Mittelpunkt *m* (wir wollen zunächst nur diese drei Punkte ins Auge fassen), so müßte *A* schneller, *C* langsamer zum Monde fallen, als der Mittelpunkt, der erstere Punkt also dem Mittelpunkte etwas voraneilen, der letztere Punkt etwas hinter demselben zurückbleiben: es würde die Erde also eine nach dem Monde zu langgezogene Gestalt annehmen müssen, und zwar nach Maßgabe der Differenzen der Anziehung auf die drei genannten Punkte. Die mit der Bewegung der Erde um die Sonne verbundene Centrifugalkraft verhindert einen Fall der Erde zum Monde; allein jene Differenz der Anziehung muß sich in der angedeuteten Veränderung der Gestalt der Erde geltend machen; es müssen also die dem Monde nächsten Theile ein Streben haben, sich nach der dem Monde zugewandten, die jenem fernsten Theile nach der ihm abgewandten Richtung vom Erdmittelpunkte zu entfernen. Die festen Theile der Erde können diesem Streben nicht nachkommen, wohl aber die flüssigen, das Wasser; es muß sich also, infolge der ungleichen Anziehung des Mondes auf verschiedene Punkte der Erde, das Wasser der große Erdräume deckenden Meere auf der dem Monde zugekehrten und der ihm abgekehrten Seite anhäufen und so zwei Fluten verursachen. Die elliptische Linie in der *Fig. 144* zeigt die veränderte Form der Erde an. Auf diese Weise erklären sich leicht die beiden gleichzeitigen Fluten auf der Erde für alle die Oerter, für welche der Mond in der oberen oder unteren Culmination steht. Aber auch die Entstehung der gleichzeitig stattfindenden Ebben sieht man leicht ein; denn das bei *A* und *C* sich anhäufende Wasser strömt von *B* und *D* hinweg und muß hier zwei Ebben hervorrufen. Aus dem bisher Gesagten wird ferner klar sein, daß die Flut für die Punkte *A* und *C*, für welche der Mond im Zenith und Nadir steht, am größten ist, und daß ihre Höhe mit der Entfernung von diesen Punkten in der Richtung der Meridiane abnehmen muß, bis sie endlich ganz unmerklich wird.

In derselben Weise, wie der Mond, bewirkt auch die Sonne in jedem Augenblick 2 Fluten und 2 Ebben; jedoch sind dieselben wegen der großen Entfernung der Sonne beträchtlich kleiner als die Mondfluten; diese sind über $2^1/_2$ mal so groß als jene. Die Sonnenfluten werden für jeden Ort zur Zeit des Mittags und der Mitternacht, die Sonnenebben morgens und abends stattfinden. Das in Beziehung auf die Zeit Gesagte gilt indessen nur für das offene Meer, wo weder Inseln noch Länder die freie Bewegung des Wassers hemmen, und auch dann noch nicht mit aller Strenge. Gleichwie die größte Wärme des Tages nicht gerade um Mittag, sondern erst etwa 2 Std. nachher, und die größte Sommerwärme nicht beim Beginn des Sommers im Juni, beim höchsten Sonnenstande, sondern erst im Juli und August eintritt; so finden auch die Fluten im allgemeinen erst einige Stunden nach der Culmination des Mondes statt, weil die unter dem Monde zu einer Flutwelle sich ansammelnden Wassertheile sich gegen einander und an dem unebenen Meeresgrunde reiben und dadurch verhindert werden, dem Monde rasch zu folgen.

Drehte sich die Erde nicht um ihre Achse und der Mond nicht um die Erde, so würden immer dieselben Oerter Ebbe und dieselben Fluten behalten; in diesem Falle aber würde von der Erscheinung nichts bemerkt werden, weil der Wechsel fehlte.

1) Folgen der Rotation der Erde. Die Erde dreht sich in 24 Std. um ihre Achse. Dadurch scheint sich der Mond, dessen Einfluß bei Ebbe und Flut der überwiegende ist, von O. nach W. um die Erde zu bewegen. Da nun die Gipfel der Flutwellen mit geringen Abweichungen stets in der Erd- und Mondmittelpunkt verbindenden geraden Linie liegen, wegen der Rotation der Erde aber immer andere Punkte der Erdoberfläche von derselben getroffen werden, so müssen auch die Flutwellen scheinbar fortschreiten, und zwar von O. nach W. In Wahrheit bewegen sich immer neue Punkte der Erdoberfläche von W. nach O. den Flutwellen entgegen und im Ocean durch sie hindurch; uns aber scheint es, als ob die Flutwellen den betreffenden Oertern von O. her entgegenkämen. Hieraus folgt, daß die geogr. Länge einen Einfluß auf die Zeit des Eintritts des Phänomens haben muß. Diese Zeit ist im allgemeinen um so früher, je weiter der Ort nach O. liegt, und umgekehrt. An einem Globus läßt sich das Gesagte leicht veranschaulichen; nur muß man nicht denken, daß stets dieselben Wassertheile die Flutwellen zusammensetzen, sonst müßten sie ja in einem Tage den Weg um die Erde machen, und wehe dann den ihnen begegnenden Schiffen; sondern immer andere und andere Wassermassen werden in die Welle hineingezogen.

Wäre die ganze Erde gleichmäßig mit Wasser bedeckt, so würden alle Oerter, welche auf demselben Meridian liegen, zu gleicher Zeit Flut und Ebbe haben. Dies ist aber in Wirklichkeit durchaus nicht der Fall, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil das Land auf die Bewegung und den Verlauf der Flutwellen einen großen Einfluß ausübt. Um sich diese Abweichungen anschaulich zu machen, hat man in neuerer Zeit auf den Vorschlag *Whewells* die Oceane mit Linien, Isorachien, überzogen, welche alle Oerter gleicher Flutzeit mit einander verbinden. Man sieht daraus, wie sehr diese Linien von den Meridianen abweichen. Für jeden Hafen tritt also erst nach einer gewissen Anzahl von Stunden nach der Culmination des Mondes das Hochmeer ein. Man pflegt diese Zeit für den Tag des Neumondes zu bestimmen, nennt dann die Zeit, die von der Culmination des Neumondes bis zum Eintritt des Hochmeeres vergeht, das Hafenetablissement, und bestimmt hiernach durch Rechnung den Verlauf aller übrigen Fluten des Monats.

Dieses Hafenetablissement beträgt z. B. in:

1) Hamburg . .	5 Std.	— Min.	7) Dünkirchen .	11 Std.	45 Min.	
2) Gröningen .	11 -	15 -	8) Calais	11 -	45 -	
3) Amsterdam .	3 -	— -	9) Boulogne . .	10 -	40 -	
4) Vließingen .	1 -	— -	10) Dieppe . . .	10 -	30 -	
5) Antwerpen .	4 -	25 -	11) Cherbourg .	7 -	45 -	
6) Ostende . . .	0 -	20 -	12) St. Malo . .	6 -	— -	

13) Brest 3 Std. 45 Min.		17) Plymouth . . . 6 Std. 5 Min.		
14) Lissabon . . 4 - — -		18) Bristol 6 - 45 -		
15) London . . . 2 - 45 -		19) Liverpool 11 - — -		
16) Portsmouth . 11 - 40 -		20) Dublin 9 - 45 -		

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, wie verschieden die Zeit des Hochmeers zuweilen für benachbarte Häfen ist, und den großen Einfluß der Lokalverhältnisse. Diese haben auch Einfluß auf die Höhe der Flut. Im offenen Ocean, fern vom Lande, bemerkt man von Ebbe und Flut gar nichts, und nur an den Küsten nimmt man die Erscheinung wahr. An manchen Inseln des großen Oceans steigt das Wasser nur 1 bis 2 Fuß, bedeutend höher aber im allgemeinen an den Ostküsten der Continente, als an den Westküsten, weil jene sich dem Fortschreiten der Flutwellen entgegenstellen und darum das Wasser aufstauen machen, bis es allmählich den Weg um den Erdtheil herum gefunden hat. So steigt die Flut an Patagoniens Ostküste bis auf 46 Fuß, und in der Fundybai bei Nordamerika selbst bis auf 55 bis 70 Fuß. Für Brest ist die mittlere Höhe der Flut 18, für Cherbourg 16, für St. Malo 31 Fuß. — Aus der Rotation der Erde allein würde für Ebbe und Flut eine tägliche Periode von 24 Std. folgen, während sie doch 24 Std. 50 Min. beträgt. Dies erklärt sich leicht aus den

2) Folgen der Bewegung des Mondes um die Erde. Der Mond legt auf seiner Bahn um die Erde täglich etwa 13° zurück, und zwar in einer der Rotation der Erde entgegengesetzten Richtung; dadurch verspätet sich täglich, wie wir bereits wissen, die Culmination des Mondes, aber auch die entsprechende Flut um c. 50 Min., so daß auf diese Weise die tägliche Periode einfach ihre Erklärung findet.

Bei der Bewegung des Mondes um die Erde nimmt aber der Mond verschiedene Stellungen zur Sonne an, und in diesen verschiedenen Stellungen hat die monatliche Periode der Gezeiten ihren Grund. In den Syzygien, bei Neu- und Vollmond, sind, weil Sonne, Mond und Erde ungefähr in gerader Linie stehen, die eintretenden Fluten die Summe der Mond- und Sonnenfluten, darum also die Fluten (Springfluten) besonders hoch und die Ebben tief. Je mehr sich aber der Mond von den Syzygien entfernt, desto größer wird der Winkel, unter dem Mond und Sonne wirken, bis zur Zeit der Quadraturen dieser Winkel ein rechter ist. Wo dann der Mond Flut, da bewirkt die Sonne Ebbe, und umgekehrt; es kann demnach weder die Flut so hoch, noch die Ebbe so tief sein als gewöhnlich; denn die Fluten und Ebben sind nur die Differenzen der Mond- und Sonnenfluten. Zwischen diesen beiden Extremen wird man sich die Zwischenstadien leicht vorstellen können. Zur Veranschaulichung der verschiedenen Lagen der Flutwellen und der eigenthümlichen Aenderung der Gestalt der Erde lassen sich mit Nutzen 2 Pappscheiben in Form von Ellipsen benutzen, deren kleine Achsen fast gleich, deren große Achsen aber etwas verschieden sind, wie es das Verhältnis der Mond- und Sonnenfluten (etwa $2^1/_2 : 1$) verlangt. Steckt man dann durch den

Mittelpunkt der beiden Pappscheiben einen Stift, so kann man durch entsprechende Drehung deutlich erkennen, wie die Mond- und Sonnenfluten sich gegenseitig bald vermehren, bald vermindern.

Im Laufe jedes Monats kommt aber der Mond wegen seiner elliptischen Bahn auch in die verschiedensten Entfernungen von der Erde, und dies spiegelt sich, wie die Erfahrungen zeigen, ebenfalls in den Höhen der Fluten ab, so daß also in der monatlichen Periode eigentlich 2 Perioden zu unterscheiden sind, deren eine von der gegenseitigen Stellung des Mondes und der Sonne, und deren andere von der wechselnden Entfernung des Mondes von der Erde abhängt.

3) Folgen der Bewegung der Erde und des Mondes um die Sonne. Bei der Bewegung der Erde um die Sonne ändert sich beider Entfernung von einander, und dies kann nicht ohne Einfluß auf Ebbe und Flut sein. Im Winter steht die Sonne der Erde näher als im Sommer, und darum müssen die Winterfluten im allgemeinen höher sein als die Sommerfluten, und das Maximum und Minimum muß in den Anfang des Januar resp. des Juli fallen.

Wegen der abgeplatteten Gestalt der Erde ist die Anziehung, welche dieselbe von Sonne und Mond erfährt, in der Ebene des Aequators am größten, und darum sind im allgemeinen Ebbe und Flut in den Aequatorialgegenden am größten. In der Ebene des Aequators steht die Sonne am 21. März und am 23. September zur Zeit der Nachtgleichen; darum sind zu diesen Zeiten die Sonnenfluten größer als zu andern Zeiten. Auch die Stellung des Mondes zum Aequator ist natürlich von Einfluß. Die Mondflut muß um so größer sein, je kleiner seine Deklination ist. Am größten müssen folglich die Fluten sein, wenn Neu- und Vollmond in die Aequinoctien fallen und dies zugleich mit der Erdnähe des Mondes zusammenfällt, was die Erfahrung vollkommen bestätigt.

Aus dem Gesagten ersieht man, wie complicirt die Erscheinung der Ebbe und Flut ist, und in der That ist sie eines der schwierigsten Probleme der höheren Mechanik. Selbst *Newton* ist es, obwohl er die richtigen Ursachen erkannt hatte, nicht gelungen, dies Problem vollkommen genügend zu lösen. Im Jahre 1738 machte deshalb die Akademie der Wissenschaften zu Paris den Gegenstand zu einer Preisfrage, die vier gekrönte Abhandlungen geliefert hat, deren berühmtesten von *Bernoulli*, *Euler* und *Maclaurin* verfaßt und auf *Newtons* Grundsätzen basirt waren. Aber auch hier mußte erst der Scharfsinn des *Laplace* die genauere Lösung herbeiführen. Er hat Formeln gefunden, durch welche man die Höhe der Flut für alle Neu- und Vollmondstage berechnen kann. Man findet das Nähere in seiner *Mécanique céleste*.

Größenverhältnis der Mond- und Sonnenfluten. Wir sagten oben, daß die Mondfluten die Sonnenfluten bedeutend an Größe übertreffen, und mit Hilfe einfacher Rechnungen können wir uns von der Richtigkeit des Gesagten überzeugen, indem wir nämlich die Größe der Anziehung für verschiedene Punkte eines der Sonne und dem Monde zugekehrten Erddurchmessers zu bestimmen versuchen.

Nehmen wir die Entfernung des Mondes von der Erde zu 51800 geogr. Mln. an, so ist die Entfernung des dem Monde nächsten

Punktes der Erde = 217,9 Mondhalbmesser,
die Entfernung des Mittelpunktes der Erde = 221,6 »
die Entfernung des dem Monde fernsten
Punktes der Erde = 225,3 »

An der Mondoberfläche oder in der Entfernung eines Mondhalbmessers ist die Wirkung der Anziehungskraft des Mondes ein Fallraum von 2,52 Fuß in der ersten Sekunde. Da die Anziehung abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen, so beträgt der Fall in der 1. Sekunde für die 3 oben bezeichneten Punkte der Erde:

$$\frac{2,52}{(217,9)^2} \text{ Fuß} = 0,0000537 \text{ Fuß},$$

$$\frac{2,52}{(221,6)^2} \text{ »} = 0,0000513 \text{ »}$$

$$\frac{2,52}{(225,3)^2} \text{ »} = 0,0000496 \text{ »}$$

Die Differenz der Anziehung für den nächsten und fernsten Punkt beträgt somit 0,0000041 Fuß.

Berechnen wir für dieselben Punkte der Erde die Größe der Anziehung der Sonne, indem wir die mittlere Entfernung derselben von der Erde zu 20682000 geogr. Mln. annehmen, so finden wir

die Entfernung des nächsten Punktes der Erde = 214,646 Sonnenhalbmesser,
» » » Mittelpunktes » » = 214,654 »
» » » fernsten Punktes » » = 214,663 »

und hieraus ergeben sich, da der Fallraum in der Entfernung eines Sonnenhalbmessers oder an der Oberfläche der Sonne = 429 Fuß ist, als Fallräume in der ersten Sekunde für die genannten drei Punkte:

$$\frac{429}{(214,646)^2} \text{ Fuß} = 0,0093113 \text{ Fuß},$$

$$\frac{429}{(214,654)^2} \text{ »} = 0,0093107 \text{ »}$$

$$\frac{429}{(214,663)^2} \text{ »} = 0,0093098 \text{ »}$$ und hiernach beträgt

die Differenz des Fallraumes für den nächsten und fernsten Punkt der Erde 0,0000015 Fuß.

Obgleich also die Sonne die Erde mit einer mehr als 170 mal so großen Kraft zu sich zieht, als der Mond, so ist doch die durch sie bewirkte Flut viel geringer als die des Mondes, da die Größe des Erddurchmessers der Entfernung der Erde von der Sonne gegenüber viel kleiner ist, als in Beziehung auf die Entfernung der Erde vom Monde. Für den Mond beträgt die Differenz der Anziehung für die Endpunkte eines Erddurchmessers = 0,0000041 Fuß,

für die Sonne hingegen = 0,0000015 Fuß;

die Mondfluten müssen daher 2,73mal so groß als die Sonnenfluten sein. Die geringe Größe der oben angegebenen Differenz der Fallräume an den Endpunkten eines Erddurchmessers könnte es auffallend erscheinen lassen, daß Ebbe und Flut so sehr in die Augen fallende Phänomene sind. Allerdings ist für die einzelnen Wassertheilchen der Unterschied der Anziehung gering; indessen nehmen wir nicht sowohl die Wirkung auf jedes einzelne Theilchen, als vielmehr die Gesamtwirkung auf alle Theile wahr, wodurch jene unbedeutenden Größen millionfach vergrößert und dadurch merklich werden.

II. Ebbe und Flut der Atmosphäre.

1. **Ebbe und Flut der Atmosphäre schwer nachzuweisen.** Wenn Mond und Sonne auf das Wasser einen so bedeutenden Einfluß üben, so muß derselbe noch beträchtlicher auf das weit dünnere und weit beweglichere Luftmeer sein. Gewiß sind Ebbe und Flut der Atmosphäre vorhanden; aber wir werden nichts davon gewahr, weil wir nicht an der Oberfläche, sondern auf dem Grunde des Luftmeeres uns befinden. Man ist indessen bemüht gewesen, den Einfluß des Mondes auf die Atmosphäre durch Beobachtungen des Barometerstandes nachzuweisen, und in der That hat sich ein sehr geringer Einfluß als vorhanden herausgestellt, indem zur Zeit der Erdferne des Mondes das Barometer ein wenig höher steht als zur Zeit seiner Erdnähe. Dr. *Neumayer* in Melbourne hat diesem Gegenstande in neuster Zeit seine Aufmerksamkeit gewidmet und nach fünfjährigen Beobachtungen gefunden: daß vom Neumond bis zum zweiten Octanten die höchsten, vom Vollmond bis zum vierten Octanten die niedrigsten Barometerstände beobachtet worden sind. Fortgesetzte Beobachtungen sind für die genauere Erforschung der Sache noch unerläßlich.

2. **Einfluß des Mondes auf die Witterung.** Im gewöhnlichen Leben ist man ferner geneigt, dem Monde großen Einfluß auf die Witterung zuzuschreiben, und man will namentlich bemerkt haben, daß zur Zeit des Neu- und Vollmondes häufig eine Aenderung des Wetters eintrete. Die Ansichten darüber sind indessen sehr getheilt, und schon daraus geht hervor, daß die Einwirkung des Mondes keine sehr in die Augen fallende und entschiedene ist. Jedenfalls sind die Witterungsverhältnisse sehr complicirter Natur, und die berühmtesten Naturforscher neigen sich der Ansicht zu, daß die Bedingungen des Wetters vorzüglich in den tellurischen und in Lokalverhältnissen liegen. Sie sind deshalb bemüht, zuerst diese Verhältnisse und ihren Einfluß genau kennen zu lernen, um dann darüber ins Klare zu kommen, ob und welche kosmischen Verhältnisse bestimmend auf das Wetter einwirken. Daß der Mond der Erde Wärme zusendet, hat man lange bestritten, da auch die feinsten Thermometer, die man den Mondstrahlen aussetzte, kein wahrnehmbares Steigen des Quecksilbers zeigten. Erst in der neuesten Zeit ist es gelungen, indem man auf sogenannte thermo-elektrische Säulen das Mondlicht concentrirte, durch die sich zeigende Ablenkung der Magnetnadel einen sehr geringen Einfluß

nachzuweisen. Außerdem scheint auch das Thermometer zur Zeit der Erdferne des Mondes, wo also die Luft dichter und darum wärmer sein muß, einen etwas höheren als den mittleren Stand zu haben. Auf diese Weise wäre es nicht unwahrscheinlich, daß der Mond auch Einfluß auf das Wachsthum der Pflanzen hat, wie viele Landleute behaupten. So säen sie gern bei zunehmendem Monde, weil da die Saat besser gedeihe, als bei abnehmendem Monde. Es ist vielleicht Wahres an der Sache, da es durch Versuche dargethan ist, daß die Menge des Lichtes, welches auf die Pflanzen wirkt, von Einfluß auf ihr Wachsthum ist. Da nun bei zunehmendem Monde ein bedeutender Theil der Nacht durch Mondlicht erhellt ist, so könnte dies wohl das Wachsthum des Samens fördern. Ferner ist der Glaube verbreitet, daß der Mond auch Einfluß auf den Menschen, namentlich bei Krankheiten äußere. Manche Aerzte wollen diese Meinung bestätigen; doch fehlt auch hier noch viel, ehe die Sache über allem Zweifel erhaben ist.

3. **Einwirkung des Mondes auf die Magnetnadel.** Eine merkwürdige Wirkung des Mondes ist die auf die Magnetnadel, die durch *Kreils* lang fortgesetzte Beobachtungen bekannt geworden ist. Mit Hilfe des *Gauss*schen Apparates sind Schwingungen der Magnetnadel beobachtet worden, die freilich nur c. 7 Bogensekunden betragen, aber entschieden von dem Einflusse des Mondes herrühren. Es übt nämlich der Mond auf den Südpol der Nadel eine anziehende Kraft aus, so daß also der Nordpol vor der Culmination des Mondes etwas nach W., nach derselben nach O. abgelenkt wird, und diese Ablenkung ist etwas größer in der Erdnähe als in der Erdferne.

So scheinen außer der Anziehungskraft zwischen den Gliedern unseres Planetensystems noch mancherlei unbekannte Wechselwirkungen zu bestehen, die zu entdecken unseren Nachkommen vorbehalten bleiben muß; indessen scheinen diese Einflüsse nur sehr gering zu sein.

III. Wirkung der Erde auf den Mond.

1. **Der Mond hat keine Ebbe und Flut.** Wenn der Mond so unverkennbar auf die Erde wirkt, so muß die Erde diese Wirkung verstärkt erwiedern. Hätte der Mond Wasser, so müßte sich nach Maßgabe der bedeutenderen Masse der Erde dasselbe auf der der Erde zu- und abgekehrten Seite zu bedeutender Höhe emporheben. Allein diese Fluten würden den Mondbewohnern nur in sehr geringem Maße bemerklich werden, weil der Mond der Erde stets dieselbe Seite zukehrt, und daher kein Wechsel zwischen Ebbe und Flut stattfinden könnte. Wegen der Libration des Mondes (S. 224) würden sich indessen die Gipfel der Flutwellen ein wenig verschieben.

2. **Doppelte Abplattung des Mondes.** Allein einen bleibenderen Einfluß hat die Erde auf den Mond bewirkt. Zu einer Zeit, da der Mond noch in einem flüssigen Zustande sich befand und seine Masse der bedeutenden Anziehungskraft der Erde nachgeben konnte, ward er in der Richtung der vom

Erd- zum Mondmittelpunkte gehenden geraden Linie langgezogen, so daß sein zur Erde gerichteter Aequatorial-Durchmesser länger ist, als der rechtwinklig auf diesem stehende, in der Richtung der Bahn liegende. Auf diese Weise hat die Erde den Mond an sich gefesselt, daß er ihr stets dieselbe Seite zukehren muß. Wahrscheinlich gilt dasselbe auch von den Monden aller übrigen Planeten. Und wenn selbst ein primitiver Stoß dem Monde eine andere Rotationsgeschwindigkeit als die jetzige verliehen hätte, so mußte doch die Erde allmählich diese Rotationsgeschwindigkeit verändern, bis er endlich in die jetzige Lage kam, in welcher er in der Zeit seiner Revolution auch seine Rotation vollendet. Aber diese Rotation muß wegen der dabei sich entwickelnden Schwungkraft die Kugelform des Mondes ebenfalls abgeändert haben, so daß also der Mond eine doppelt abgeplattete Kugel ist. Ueber die Größe dieser Abplattung ist bereits S. 333 und 334 Näheres mitgetheilt worden, worauf wir hiermit verweisen. Eine weit bedeutendere doppelte Abplattung müssen die Monde Jupiters, besonders der erste Mond, erfahren haben, weil sowohl die Masse des Hauptplaneten, als auch die größere Rotationsgeschwindigkeit der Monde jene Abplattungen begünstigten.

Viertes Kapitel.

Hypothese über den Ursprung des Sonnensystems.

Jedes gründliche Wissen ist, wie schon das Wort gründlich bezeichnet, bemüht, den Dingen auf den Grund zu gehen oder die Ursachen zu erforschen, aus welchen sich die Dinge entwickelt haben, und in der That kennt man diejenigen Dinge am besten, deren Entwicklungsgeschichte bekannt ist. Es ist ein natürlicher, den Fortschritt fördernder Hang des Menschen, das Bestehende, das Gegenwärtige mit der Vergangenheit in Verbindung zu bringen, und wo ihm hierbei sicher leitende Thatsachen fehlen, sucht er auf den Flügeln der Phantasie die weiten, dunklen Räume auszufüllen und sich wahrscheinliche, mögliche Ursachen zu schaffen, als deren Folgen das Bestehende angesehen werden könnte.

1. **Die aufgestellten Hypothesen.** Aehnlich mußte der Mensch verfahren, als es sich um eine Antwort auf die interessante Frage handelte, wie das System entstanden sei, bei dessen Bestehen er so sehr betheiligt ist. Zu den verschiedensten Zeiten ist die Beantwortung der Frage versucht worden und, wie zu erwarten ist, sehr verschieden ausgefallen. Eine nur einigermaßen genügende Antwort war unmöglich zu Zeiten, in denen man über die wirkliche Einrichtung des Systems ganz falsche Ansichten hegte, also etwa bis zu *Copernikus*; die Antworten mußten aber auch nach dieser Zeit ungenügend ausfallen, da sie, ohne Berücksichtigung der bestehenden Verhältnisse, nur von

der Phantasie diktirt waren. Es würde wenig erquicklich und lehrreich sein, wollten wir hier auch nur die wichtigsten der aufgestellten Cosmogenien kurz besprechen, da die meisten derselben bei dem heutigen Stande des Wissens in Beziehung auf die Einrichtung des Sonnensystems auf den ersten Blick, wenn nicht absurd, so doch wenigstens höchst unwahrscheinlich erscheinen. Nur eine Hypothese über die wahrscheinliche Entstehung des Planetensystems, aufgestellt von dem großen Königsberger Philosophen *Immanuel Kant**) (geb. 1724, gest. 1804) und etwas später von dem berühmten französischen Geometer *Laplace***) (geb. 1749, gest. 1827) entsprechen dem heutigen wissenschaftlichen Bewußtsein und haben in mancher Beziehung sogar einen hohen Grad der Wahrscheinlichkeit. Wir beschränken uns hier darauf, diese Hypothese, gewöhnlich die *Laplace*sche genannt, in den Hauptzügen darzulegen.

2. **Merkwürdige Eigenschaften des Sonnensystems.** Es ist eine bemerkenswerthe Thatsache, daß alle Planeten ohne Ausnahme in derselben Richtung, von W. nach O., um die Sonne kreisen, und in derselben Richtung sehen wir auch alle Monde sich um ihren Hauptplaneten bewegen. Nur die Monde des Uranus, die von N. nach S. um ihren Centralkörper wandern, scheinen hiervon eine Ausnahme zu machen; allein es kann dies eigentlich nicht als eine Ausnahme betrachtet werden, da jene Monde sich im vorliegenden Falle ganz indifferent verhalten, und ihre Bewegung sowohl für eine ost-westliche, als für eine west-östliche gedeutet werden kann. — Auch die Rotationen aller Planeten, bei denen eine solche überhaupt hat wahrgenommen werden können, erfolgen sämtlich von W. nach O. Diese Uebereinstimmung in der Richtung der Bewegung ist jedenfalls ein merkwürdiger Umstand, und es ist mehr als wahrscheinlich, daß derselbe die Folge einer das ganze System umfassenden Ursache ist, er also mit der Art der Bildung des Systems im Zusammenhange steht.

Als eine zweite beachtenswerthe Thatsache erscheint die geringe Excentricität der Planetenbahnen. Die Bahnen der größeren Planeten und vieler Asteroiden weichen sehr wenig, und nur die einiger der letzteren Körper bedeutender vom Kreise ab; jedoch ist auch in diesem letzteren Falle die Excentricität weit geringer als bei den sehr elliptischen Kometenbahnen.

Einen dritten merkwürdigen Umstand endlich bilden die geringen Neigungen der Planetenbahnen zu einander und zur Ebene des Sonnenäquators; nur bilden auch hier einige Asteroiden, namentlich Pallas, Uebergänge zu den unter allen Winkeln und nach allen Richtungen geneigten Kometenbahnen.

Diese genannten drei Eigenschaften des Sonnensystems sind nicht etwa als

*) Titel der betreffenden Schrift: Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels. Königsberg 1755.

**) *Mécanique céleste* nebst Supplementen. 5 Bände. Paris 1799—1825; eines der berühmtesten Werke der neueren Astronomie.

eine Wirkung der allgemeinen Gravitation zu betrachten; denn die Gravitationsgesetze würden auch herrschen können, wenn einige Planeten von W. nach O., andere von O. nach W., in wenig oder stark elliptischen Bahnen die Sonne umkreiseten. Sie scheinen vielmehr in der ersten Einrichtung des Systems, in der Art der Bildung der Planeten ihre Ursache zu haben, und sie bilden daher den schwachen Faden, der zu einer Ansicht über die wahrscheinliche Entwicklungsgeschichte unseres Sonnensystems zu führen vermochte.

3. **Plateau's interessanter Versuch.** Von *Plateau* in Gent und später auch von *Faraday* ist ein sehr interessanter Versuch angestellt worden, der für das Verständnis der noch zu entwickelnden *Laplace*schen Hypothese außerordentlich förderlich ist. Wir lassen darum die kurze Beschreibung desselben der Darstellung jener Hypothese voraufgehen.

Olivenöl ist leichter als Wasser und breitet sich darum, in Wasser gegossen, auf der Oberfläche desselben aus, es in einer Ebene berührend. Gießt man aber Alkohol, der specifisch leichter ist als Wasser, mit diesem zusammen, so kann man eine Mischung zu stande bringen, die mit dem Olivenöl gleiches specifisches Gewicht besitzt. In einer solchen Flüssigkeit ist das Olivenöl als eine von der Wirkung der Schwere freie Flüssigkeit zu betrachten, und man sieht es deshalb, vermöge der ihm inwohnenden Molekülaranziehung, sofort die Kugelform annehmen. Bringt man durch eine solche Kugel vorsichtig eine senkrechte, mit einer kleinen Scheibe versehene Achse, so kann man, indem man diese Achse mit der Scheibe in zweckmäßiger Weise langsam in Rotation versetzt, auch die Oelkugel in eine rotirende Bewegung bringen. Sehr bald zeigt die Kugel dabei infolge der entstandenen Schwungkraft an den Polen eine Abplattung und eine Massenanhäufung in der Mitte zwischen diesen Polen, so daß sie als ein Bild der durch Rotation abgeplatteten Planeten erscheint. Steigert man aber die Rotationsgeschwindigkeit so, daß in 1 Sek. 2 bis 3 Umdrehungen der Oelkugel erfolgen, so sieht man an den Polen zwei Höhlungen sich bilden, bis endlich bei weiter gesteigerter Geschwindigkeit und dadurch bewirkter immer größerer Ausdehnung der Oelmasse in horizontaler Richtung diese ganze Masse in Form eines Ringes erscheint, der anfangs mit jener kleinen, mit der Rotationsachse verbundenen Scheibe noch durch eine feine Haut in Verbindung steht. Hält man aber die Scheibe plötzlich an, so zerreißt diese Haut, und man sieht die Oelmasse in Form eines freischwebenden Ringes noch einige Zeit ihre Rotation fortsetzen, bis sie beim Nachlassen der Centrifugalkraft sich wieder in Kugelform um die Scheibe ansetzt. Wählt man aber ein kleines Scheibchen und setzt man, indem man recht langsam die Drehung anfängt und längere Zeit hindurch fortsetzt, damit sich auch der die Oelkugel umgebenden Alkohol-Mischung die Bewegung mittheile, auch nach der Bildung des Ringes die Drehung noch fort; so hindert die in der Flüssigkeit entstandene Bewegung und die dadurch hervorgerufene Centrifugalkraft die Oelmasse, sehr bald ihre Kugelgestalt wieder anzunehmen; vielmehr zerreißt der Ring in mehrere isolirte Theile, die sich zu kleinen Kügelchen formen, welche alle in

der Rotationsrichtung des Ringes ihre Bewegung um die Scheibe fortsetzen, auch wohl in der Tangente des durchlaufenen Kreises sich von derselben zu entfernen streben. — Man wird bei diesem Versuche unmittelbar an den wahrscheinlichen Bildungsprozeß der Planeten erinnert.

4. **Laplacesche Hypothese.** Nach *Laplace's* Ansicht war unser Sonnensystem einst nichts anderes als eine große kugelige Dunstmasse, in welcher sich durch allmähliche Verdichtung eine hohe Temperatur entwickeln mußte. Durch eine solche Verdichtung nach dem Mittelpunkte bildete sich im Laufe der Zeit (wie viele Jahrtausende dazu nöthig gewesen sein mögen, ist nicht, auch nicht einmal annähernd, zu sagen) der Centralkörper, die Sonne, so daß nun von einem fernen Standpunkte aus das Ganze als ein Nebelstern erschienen sein mag. Der die Sonne damals einhüllende Dunst oder Nebel muß weit hinaufgereicht haben, wenigstens noch über die Neptunsbahn hinaus. Es bedurfte nur der Anziehung benachbarter Himmelskörper, um die Sonne und ihre große Dunsthülle in Rotation zu versetzen. Hierdurch mußte sich eine Centrifugalkraft entwickeln und diese in der Ebene des Sonnenäquators im allgemeinen ihren größten Werth haben. Diese Centrifugalkraft konnte an den äußersten Grenzen der Dunstkugel größer werden als der Zug nach dem Sonnenmittelpunkte; die natürliche Folge davon mußte die Losreißung einzelner Dunstmassen oder einer Dunstschicht in der Ebene des Sonnenäquators sein. Eine solche Trennung konnte aber auch durch die fortgesetzte Abkühlung und dadurch bewirkte Verdichtung der äußersten Dunstschichten befördert werden. In ähnlicher Weise haben sich viele Nebelmassen oder Nebelringe von der eigentlichen Sonnenkugel oder vielmehr von ihrer Dunsthülle losgerissen, und es ist leicht einzusehen, daß alle diese Ringe wegen des Beharrungsvermögens in der früheren Richtung, alle also auch nach derselben Richtung ihre Bewegung fortsetzen mußten. Hätte ein solcher Ring überall gleiche Dichtigkeit gehabt, so hätte er sich auch bei fortgesetzter Abkühlung und Zusammenziehung nach der Trennung vom warmen Mutterheerde gleichmäßig zum Sonnenäquator herabsenken können; dieser Fall aber ist, weil die Bedingungen seines Eintritts schwer zu erfüllen sind, nicht eingetreten. Vielmehr sind alle Ringe gesprungen, und ihre Masse mußte sich nach den Gesetzen der Molekülaranziehung, die vielleicht mit der allgemeinen Gravitation identisch ist, wie beim *Plateau*schen Versuche, zu einer Kugel abrunden, und zwar mußte sich da ein Mittelpunkt der Anziehung bilden, wo sich zufällig eine größere Massenanhäufung befand. Auf diese Weise bildeten sich die einzelnen Planeten, und es ist nach dem Gesagten leicht erklärlich, daß alle in derselben Richtung um die Sonne sich bewegen.

Da die der Sonne ferneren Theile der Ringe, aus denen die Planeten sich bildeten, eine größere Geschwindigkeit hatten als die der Sonne zugewandten Theile derselben, so eilten bei der allmählichen Abrundung der Ringmasse zu einer Planetenkugel die ersteren Punkte den letzteren voran, und die natürliche Folge war die Rotation des Planeten in derselben Richtung, als in

welcher er sich selbst um die Sonne bewegte. Jede einzelne Planetenkugel hat anfänglich gewiß ein weit größeres Volumen und eine weit höhere Temperatur als heute gehabt. Die Ausstrahlung der Wärme in den kalten Weltenraum aber mußte eine fortgesetzte Abkühlung an ihrer Oberfläche und eine Verkleinerung des Volumens zur Folge haben. Uebrigens mußte bei jedem einzelnen Planeten sich der Vorgang wie beim Ganzen wiederholen. Durch Absonderung von ringförmigen Schichten mußten sich Monde bilden, und zwar in um so größerer Zahl, je größer der Planet und je schneller dabei die Rotationsgeschwindigkeit war. Saturn nur bietet bis jetzt allein das Phänomen ihn umkreisender Ringe dar. Daß bei der angedeuteten Art der Bildung auch die Monde und diese Ringe Saturns in derselben Richtung ihre Hauptplaneten umkreisen müssen, als in welcher diese letzteren sich um die Sonne bewegen, bedarf kaum gesagt zu werden. — Nach der kurz entwickelten Ansicht findet also die Uebereinstimmung in der Richtung der rotirenden und revoltirenden Bewegung der Planeten sehr einfach ihre Erklärung.

Wäre aber die Bildung des Systems einfach ohne weitere Einflüsse von außen in angegebener Weise vor sich gegangen, so hätten die Bahnen aller Planeten Kreise werden müssen, deren Ebenen mit der Ebene des Sonnenäquators zusammenfielen, also Bahnen von gar keiner Excentricität und Neigung. So wie aber die Bedingungen der Ringbildung nur einmal im ganzen Planetensystem vorhanden gewesen sind, so hat sich auch eine fast kreisförmige Bahn nur bei einem Planeten, nämlich bei Venus, bilden können, deren Bahn nur die sehr geringe Excentricität von 0,00686 oder von $^1/_{146}$ der halben großen Achse beträgt. Geringe Störungen des einfachen, regelmäßigen Verlaufes des Bildungsprozesses reichten aber schon hin, den normalen Zustand etwas zu modificiren, und wohl wenig großartige Bildungsprozesse dürften sich finden, die einen ganz normalen Verlauf genommen hätten. Darum kann das Vorhandensein von Excentricitäten und Neigungen der Planetenbahnen durchaus nicht gegen die Richtigkeit der obigen Hypothese sprechen. Die Abweichungen von der Regel sind ja im allgemeinen so unbedeutend, daß der normale Zustand gleichsam durchschimmert; daß aber die kleineren Glieder des Systems größere Unregelmäßigkeiten zeigen als die größeren, wird jeder leicht begreiflich finden.

5. **Ursprung der Kometen.** Bei der oben in großen Zügen dargestellten Hypothese ist keine Rücksicht auf die Kometen genommen, und es sind auch die verschiedenen Richtungen, in denen sie die Sonne umschwärmen, die oft sehr großen Excentricitäten und Neigungen der Bahnen wenig geeignet, sie als Körper anzusehen, die mit den Planeten eine gleiche Bildungsgeschichte gehabt haben. Der Urnebel oder Weltdunst ist in so außerordentlicher Menge im Universum verbreitet, daß es wenigstens nicht unwahrscheinlich ist anzunehmen, daß kleinere Massen desselben den Weltenraum in den verschiedensten Richtungen durchirren. Manche von ihnen mögen auf ihren Wanderungen in die Sonne gestürzt sein und so ihr selbständiges Dasein verloren haben; viele

andere sind aber wenigstens an sie gefesselt worden und erscheinen nun als bleibende und gleichsam eingebürgerte Glieder des Sonnenstaates; noch andere endlich mögen in nicht geschlossenen, hyperbolischen Bahnen von einem Fixstern zum andern wandern und unser System als Fremdlinge vielleicht nur einmal besuchen. Mit Sicherheit haben sich hyperbolische Kometenbahnen jedoch noch nicht nachweisen lassen, da es schwer ist, aus einem sehr kleinen Stück der Bahn, wie es gewöhnlich nur beobachtet werden kann, zweifellos die richtige Form der ganzen Bahn zu erkennen, und eine Ellipse mit sehr großer Excentricität an ihren Scheiteln gar wenig von einer Hyperbel abweicht.

Nach dem Gesagten wären also die Kometen nicht gleichen Ursprungs mit der Sonne und den Planeten; die Annahme aber, daß sie aus den verschiedensten Gegenden des Universums in den Bereich der Sonne gekommen seien, erklärt sowohl die langgezogene Gestalt ihrer Bahnen, als auch die unter allen Winkeln vorhandenen Neigungen derselben. Man vergleiche hiermit *Schiaparelli's* Ansichten S. 421.

6. **Werth der Hypothese.** Wenn gleich die *Laplace*sche Hypothese als ein sehr interessanter Versuch, die Frage über die wahrscheinliche Bildung des Sonnensystems zu beantworten, angesehen werden muß, da sie in mancher Beziehung selbst einen nicht geringen Grad der Wahrscheinlichkeit besitzt; so muß man doch nicht vergessen, daß es eben nur eine Hypothese ist, eine Meinung, die sich nicht auf strenge Rechnungen stützt. Sie läßt noch manche Zweifel ungelöset und kann höchstens als annähernd das Richtige treffend angesehen werden. Es wird gewöhnlich als ein Mangel derselben hervorgehoben, daß sie die Kometen als dem Sonnensysteme eigentlich fremde Körper betrachtet, da sie doch, wie alle Planeten, den *Kepler*schen Gesetzen gehorchten und als die zahlreichsten Glieder des jetzigen Sonnensystems betrachtet werden müßten. Allein es dürfte schwer sein, mit Sicherheit zu entscheiden, ob die Kometen von Anfang des Sonnensystems an als wesentliche Theile zu ihm gehört haben.

Als ein zweiter Einwurf pflegt angeführt zu werden, warum denn die Planeten, da sie doch Theile der Sonnenmasse seien, diese aber noch hell leuchte, die Leuchtkraft verloren hätten. Hierauf läßt sich wohl entgegnen, daß die lange Ausstrahlung von Wärme in den kalten Weltenraum und die dadurch bewirkte Abkühlung der Planeten an ihrer Oberfläche den Verlust der Leuchtfähigkeit zur Folge haben mußte. In Beziehung auf die Erde sind ja die berühmtesten Geologen der Ansicht, daß dieselbe ihre feste Rinde nur durch den Ausstrahlungsprozeß erhalten habe, während im Innern derselben sich noch jetzt eine sehr hohe Temperatur befinde, und in der That sprechen sehr gewichtige Gründe für die Annahme eines sogenannten Centralfeuers der Erde, das selbst alle irdischen, schmelzbaren Stoffe zu schmelzen im stande sein dürfte. Ob aber die Abkühlung der Erde infolge fortgesetzter Wärmestrahlung bereits einen Stillstand erlangt hat, indem sich der Gewinn an empfangener Wärme durch die Sonne und der Verlust als Wirkung der Ausstrahlung das Gleich-

gewicht halten, ist eine bis jetzt noch nicht ganz sicher zu beantwortende Frage; doch ist man geneigt, die Frage zu bejahen. Für die Größe der Ausstrahlung ist besonders die Größe der Oberfläche maßgebend; wir geben deshalb den Flüssigkeiten, deren rasche Abkühlung wir wünschen, eine möglichst große Oberfläche. Nun hat aber eine kleinere Kugel eine größere Oberfläche im Verhältnis zu ihrem Volumen, als eine größere Kugel, wie eine einfache Rechnung zeigt. So verhält sich z. B. die Zahl für die Größe der Erdoberfläche zu der in den entsprechenden Kubikeinheiten ausgedrückten Zahl für das Volumen der Erde wie 1 : 286,5, während die entsprechenden Größen bei Jupiter sich wie 1 : 3215,7 zu einander verhalten. Bei Jupiter kommt also auf ein 11,2mal so großes Volumen erst eine Quadratmeile Oberfläche; seine Oberfläche ist also verhältnismäßig 11,2mal so klein als die der Erde. Da aber die Größe der Ausstrahlung vornehmlich durch die Größe der Oberfläche bedingt ist, so strahlt, unter übrigens gleichen Umständen, die Erde 11,2mal so stark Wärme aus als Jupiter. Es ist darum nicht unmöglich, daß Jupiter noch eigenes Licht ausstrahle, und es zeigen auch, wie wir schon Gelegenheit hatten zu bemerken, photometrische Bestimmungen, daß das von ihm gespendete Licht größer ist, als es sein könnte, wenn es nur reflektirtes Sonnenlicht wäre. In dieser Gedankenverbindung stellt sich das günstigste Verhältnis für die Sonne heraus; sie hat im Verhältnis zu ihrem Volumen die kleinste Oberfläche, und zwar ist dieselbe verhältnismäßig 112mal so klein als die der Erde, und fast 10mal so klein als die Jupiters.

Als der gewichtigste Einwand gegen die in Rede stehende Hypothese erscheint derjenige, daß, wären die Planeten auf die angegebene Weise entstanden, die Dichtigkeiten derselben nach einem gewissen Gesetze von den mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne abhängig sein müßten, was doch durchaus nicht der Fall ist, indem ein Gesetz für die Dichtigkeiten bis jetzt sich nicht hat finden lassen (s. die Tabelle S. 443). Wir müssen also auch hier den Nachkommen überlassen, entweder durch neue Entdeckungen, vielleicht durch ganz zuverlässige Massen- und Dichtigkeitsbestimmungen, den Conflikt zu lösen, oder eine neue, mehr genügende Hypothese über die Entstehung des Sonnensystems aufzustellen; vollständig genügen wird keine.

Fünftes Kapitel.

Dauer des Sonnensystems.

1. Frage nach dem Bestande des Weltenbaues. Nachdem wir die mannigfachen und wechselnden Erscheinungen, welche der Himmel und seine Wunder uns darbieten, an uns haben vorübergehen lassen und namentlich unserer Erde und dem Systeme, zu dem sie als ein integrirender Theil gehört,

eine eingehendere Betrachtung gewidmet haben, dürfte die Frage gerechtfertigt sein: Was wird die einstige Losung sein? — Ueberall, selbst da, wo das unbewaffnete Auge nichts davon wahrnimmt, sehen wir Bewegung und Veränderung, nirgends Stillstand. Monde kreisen um Planeten, diese wieder um die Sonne; und die Sonne selbst durchschweift mit allen ihren Begleitern in einer noch unerforschten Bahn den Weltenraum, und trägt uns in stets neue Gegenden des Universums. Ein großes Heer von Kometen sehen wir in den verschiedensten Richtungen und Bahnen den Raum durchirren, Fixsterne um Fixsterne sich schwingen, und selbst ganze Sternsysteme sind in revoltirenden Bewegungen begriffen. Hier sehen wir Sterne ihre Farbe und ihren Glanz verändern, dort andere gänzlich für unser Auge verschwinden, während wieder andere plötzlich am Himmel aufglimmen, um bald wieder zu erbleichen: Was wird das Ende des ewigen Wechsels sein?

2. **Beruhigende Antwort.** a) In Beziehung auf die Erde. Der Mensch, in das Schicksal der Welt verwebt, hat dem Himmel Antwort auf diese Frage abverlangt, und es ist ihm durch Anstrengung seiner ihm vom Schöpfer verliehenen Geisteskräfte gelungen, wenigstens für die Erde und das System, zu dem sie gehört, zu einem gewissen, beruhigenden Resultate zu gelangen. Er suchte in dem beständigen Wechsel nach etwas Constantem, Unveränderlichem, und fand für die Erde besonders zwei Dinge, die selbst im Laufe von 6 Jahrtausenden keinen merklichen Veränderungen unterworfen gewesen sind, nämlich 1) die Rotationszeit und 2) die Lage der Erdachse. Durch Vergleichung der Umlaufszeiten der Planeten, wie sie im Alterthume gefunden wurden, mit den jetzt beobachteten, gelangte man zur Gewißheit, daß die Rotationsgeschwindigkeit der Erde sich nicht um $^1/_{100}$ Sekunde weder beschleunigt noch verzögert, oder daß die Dauer des Tages sich nicht einmal um jene geringe Größe geändert habe. Ferner hat die Erdachse stets dieselbe Lage gehabt, so daß die Pole stets durch dieselben Punkte der Erdoberfläche gegangen sind, und wenn in Zukunft selbst eine äußere Kraft, etwa ein Stoß, die Lage der Achse etwas verrücken sollte, die abgeplattete Gestalt der Erde und die dadurch bedingten eigenthümlichen Verhältnisse der Schwungkraft müssen sie stets wieder in dieselbe Lage zurückführen. So hat also die Erde für die Zukunft weder eine gefahrdrohende Aenderung der Tages-, noch der Jahreszeiten zu fürchten. Denn offenbar müßte eine bedeutende Aenderung in der Lage der Achse den größten Einfluß auf die Lage und Größe der Zonen ausüben, und die Wärmeverhältnisse der Erde in einem Grade modificiren, der für das Bestehen der organischen Wesen von den nachtheiligsten Folgen sein könnte. Außerdem aber könnte bei einer solchen Aenderung der Ocean seine Ufer überschreiten und eine neue Sündflut veranlassen, die allem Leben den Untergang bereitete. Diese Gefahren scheint also die Erde, soweit menschliche Berechnung reicht, nicht fürchten zu dürfen. Besonders den scharfsinnigen und unermüdlichen Untersuchungen *Laplace*'s verdanken wir dieses beruhigende Resultat.

b) In Beziehung auf das Sonnensystem. Vielleicht aber könnten der Erde Gefahren durch die Einrichtung des Systemes bereitet werden, zu welchem sie gehört. Wir haben nämlich gesehen, wie die periodischen und säcularen Störungen die Planeten, und also auch die Erde, aus den ihnen von der Sonne vorgeschriebenen Bahnen ziehen, und diese Bahnen selbst Aenderungen unterworfen sind. Solche Aenderungen müßten, gingen sie unaufhaltsam fort, endlich das Bestehen des ganzen Systems gefährden und seinen Untergang nothwendig herbeiführen. Darum sind diese Störungen von den Astronomen einer sorgfältigen Prüfung und Rechnung unterworfen worden, und es haben dieselben ebenfalls ein beruhigendes Resultat geliefert, daß nämlich, so weit menschliche Erkenntnis reicht, in der Einrichtung des Systems nichts liege, was für den Bestand desselben gefährlich werden könnte, und daß der Schöpfer, indem er um alle Glieder des Systems das Band der Anziehungskraft schlang, bei der Schöpfung des wunderbaren Baues nicht schon den Keim der Vernichtung in dasselbe gelegt. Daß die periodischen Störungen unschädlich sein müssen, leuchtet von selbst ein, da sie sich regelmäßig in kurzen Zwischenräumen wiederholen und nie eine gefährliche Größe annehmen können. Anders freilich könnte es mit den säcularen Störungen sein. Wenn z. B. die Excentricitäten der Bahnen maßlos wüchsen, so müßte das sowohl für den einzelnen Planeten, als auch für das Ganze von den unheilvollsten Folgen sein. Denn von der Excentricität hängt die Entfernung der Planeten von der Sonne und davon wieder Erleuchtung und Erwärmung ab. Wären diese letzteren, wegen zu veränderlicher Entfernung von der Sonne, einem zu großen Wechsel unterworfen, so müßte dadurch ebenfalls die Existenz der organischen Gebilde, die bei den jetzigen Verhältnissen bestehen, in Frage gestellt und eine ganze Schöpfung vernichtet werden.

Allein diese schlimmen Folgen sind nicht zu besorgen; denn die höhere Analysis zeigt, daß auch die säcularen Störungen periodisch sind, wenigstens diejenigen, die dem Bestehen des Ganzen nachtheilig werden könnten, wie die Aenderungen der Neigungen, Excentricitäten und Umlaufszeiten. Ehe sie gefährliche Dimensionen angenommen haben, kehren sie ihren Lauf um, wenn auch erst nach vielen Jahrtausenden.

Unschädlich ist die Bewegung der Apsidenlinie der Planetenbahnen, weil sie mit geringer Aenderung der Excentricität gepaart ist, und sie kann darum ohne Gefahr für das Ganze einen ganzen Umkreis vollenden und sich den verschiedensten Theilen des Himmels zuwenden.

Alle andern Elemente der Bahnen erleiden Störungen, die in enge Grenzen eingeschlossen sind, und *Leverrier* hat durch mühsame Rechnungen gezeigt, daß in dem Zeitraume von hunderttausend Jahren keine eine Größe annehmen kann, die Besorgnis einzuflößen im stande wäre. Für die nächsten hunderttausend Jahre scheint also der Bestand des Systems gesichert; aber auch über diesen Zeitraum hinaus scheint noch keine Gefahr zu drohen. Wie wir gesehen, sind Jupiter und Saturn wegen ihrer großen Masse diejenigen Körper, von denen am leichtesten Gefahr zu besorgen wäre, und man hat sie deshalb be-

sonders einer Rechnung unterworfen. Diese Rechnung zeigt, daß alle Aenderungen der Form ihrer Bahnen in einen Zeitraum von etwa 900000 Jahren eingeschlossen sind. Die Durchschnittslinien ihrer Bahnebenen mit der der Ekliptik schwanken, Pendeln gleich, in 25000 Jahren hin und her, und die Aenderung der Neigung beider Bahnen hat eine Periode von c. 50000 Jahren. Eine der längsten Perioden hat die Störung der sehr elliptischen Bahn Merkurs. Es gehören nicht weniger als 1 million und 800000 Jahre dazu, daß die Bahn von ihrer länglichsten Gestalt bis wieder zu derselben zurückkehre. So kehren also alle Aenderungen, wenn auch erst nach Hunderttausenden, ja Millionen von Jahren wieder, ohne für den ganzen Bau verderblich zu werden. Was ist gegen solche Zeiträume die Dauer eines Menschenlebens! In den unermeßlichen Himmelsräumen wird mit einem andern Maße gemessen; unsere irdischen Größen sind dagegen verschwindend klein. Diese Erkenntnis muß den Menschen zur Demuth, zugleich aber auch zum Dank gegen Den antreiben, der ihm die geistigen Kräfte verlieh, so tief in die Geheimnisse der Natur einzudringen und die Mittel entdecken zu können, durch welche der Schöpfer den Bestand seines Werkes für Jahrtausende sicherte.

3. **Mittel, welche den Bestand zu sichern scheinen.** Diese Mittel sind folgende:

1) Die große, überwiegende Masse der Sonne. Sie überwiegt die Masse aller Planeten mehr denn 700 mal, die Jupiters noch 1048 mal. Sie macht alle Planeten von sich abhängig und gestattet ihnen nur einen untergeordneten Einfluß auf die einzelnen Glieder des Systems, der nie verderblich werden kann. Der Schwerpunkt des ganzen Systems fällt meist innerhalb des Sonnenkörpers.

2) Die lange periodische, in enge Grenzen eingeschlossene Aenderung der Excentricität der großen Planeten Jupiter und Saturn. Große Excentricitäten sehen wir nur bei den kleinsten Gliedern des Sonnenstaates, bei den Asteroiden und Kometen; aber diese können wegen ihrer geringen Masse nicht gefährlich werden.

3) Die Unveränderlichkeit der großen Achsen der Bahnen und die damit verbundene Unveränderlichkeit der siderischen Revolution. Wenn also auch eine Planetenbahn infolge der Störungen sich abwechselnd kreisförmiger oder elliptischer gestaltet und selbst die große Achse durch die verschiedene Stellung der Planeten kleine Aenderungen erleidet, so stellt sich dieselbe nach kurzen Perioden immer wieder her und sichert so auch die durchschnittlich unveränderliche Umlaufszeit.

4) Die geringe und sich wenig ändernde Excentricität und Neigung der Bahnen zu einander. Nur die kleinen Planeten, die aber wegen der geringen Masse nur einen geringen Einfluß auf das Ganze ausüben können, bewegen sich in sehr excentrischen und stark geneigten Bahnen.

5) Die gleiche Richtung der rotirenden und fortschreitenden Bewegung. Wenn nur ein Planet, namentlich Jupiter oder Saturn, anstatt

von W. nach O. sich von O. nach W. um die Sonne bewegte, so würden die säcularen Störungen aufhören periodisch zu sein, und die Vernichtung des Systems herbeiführen.

6) Der scheinbar geringfügige Umstand, daß die Umlaufszeiten der Planeten gegenseitig incommensurabel sind, d. h. gegenseitig kein gemeinschaftliches Maß haben. Dividirt man nämlich mit der Umlaufszeit irgend eines Planeten in die eines andern, mit dem Rest in den Divisor, mit dem dadurch entstehenden Rest in den vorigen Rest u. s. w., so ist der Quotient nie eine ganze Zahl.

Diese Momente scheinen den Bestand des Planetensystems zu sichern, und wie in einem Staate die verschiedenen Individuen und Stände auf einander wirken und unter der Leitung einer kräftigen, weisen Regierung eine die Entwicklung des Staatsganzen fördernde Bewegung herbeiführen; so scheinen auch die Einwirkungen der Planeten auf einander unter der Herrschaft der mächtigen Sonne nicht zur einstigen Vernichtung, sondern vielmehr zur Erhaltung des ganzen Systems geschaffen zu sein.

So weit hat also der prüfende Verstand des Menschen in der Einrichtung des Systems den Keim des Todes noch nicht finden können, sondern in ihm eine Lebensfähigkeit und Lebenskraft entdeckt, die noch für Hunderttausende von Jahren das Bestehen des Ganzen zu sichern scheint. Sollte aber dem Planetensystem in seiner jetzigen Gestalt und in seinen jetzigen Verhältnissen vom Schöpfer eine ewige Dauer bestimmt sein? Wir wissen es nicht. Kennen wir doch den Zweck des Systems nicht; derselbe ist allein Dem bekannt, vor dem »tausend Jahre sind wie der Tag, der gestern vergangen ist, und wie eine Nachtwache«. Wenn wir aber sehen, daß der Mensch und jedes Geschöpf wieder zu dem Staube zurücksinkt, von dem sie genommen sind, nachdem sie die ihnen erreichbare Stufe der Entwicklung erlangt haben, und oft selbst schon früher; so können wir kaum an die ewige Dauer unsers Sonnensystems zu glauben geneigt sein. Scheint doch auch die Materie einem Entwicklungsprozeß unterworfen zu sein, sich aus formlosen flüssigen oder lockeren Massen zu mehr oder weniger festen Kugeln oder Ringen zu gestalten. Sollten aber Glieder unseres Systems den Zielpunkt ihrer Entwicklung schon erreicht haben? Es ist nicht wahrscheinlich. Aber sollten solche Entwicklungsstufen auch viele Jahrtausende umfassen, so könnten doch zuletzt Verhältnisse entstehen, die das Bestehen, wenigstens der organischen Wesen, unmöglich machten. Liefert uns doch die Erdoberfläche in ihren Schichten den sprechendsten Beweis, daß bereits ganze Schöpfungen, von den jetzigen verschieden, ihren Untergang gefunden. So sind also für die einzelnen Glieder des Systems mancherlei Veränderungen möglich, ohne daß indessen dadurch das Bestehen des ganzen Baues in Frage gestellt wird. Aber von außen können Einflüsse sich geltend machen, von denen wir jetzt noch keine Ahnung haben.

4. **Mögliche Ursachen des Untergangs.** Wir wandern mit unserer Sonne in ungemessene, unbekannte Räume des Weltenraumes. Es können in

diesen neuen Räumen neue Verhältnisse sich finden, unter denen der jetzige Stand der Dinge unmöglich ist. Die Sonne bewegt sich gegenwärtig in einer sehr sternarmen Gegend des Universums; wird es immer so sein? Jetzt ist ein Einfluß der fernen Fixsterne auf unsere Welteninsel nicht zu entdecken; wer bürgt dafür, daß er in Zukunft nicht eintritt und die Bande, die jetzt die Planeten an die Sonne fesseln, nicht gelöst oder so modificirt werden, daß die Auflösung der jetzigen Ordnung der Dinge eine nothwendige Folge wird?

Wir haben ferner gesehen, daß die regelmäßige Verkürzung der Umlaufszeit des *Encke*schen Kometen das Vorhandensein eines seinen Lauf hemmenden, den Weltenraum erfüllenden Fluidums fast mehr als wahrscheinlich macht. Die durch den Widerstand dieses Fluidums hervorgebrachte Vergrößerung der Geschwindigkeit beträgt nach der Beobachtung gegenwärtig den 1000sten Theil ihres jetzigen Betrages; ginge diese Aenderung der Geschwindigkeit in gleicher Weise fort, so würde der Komet in 16000 Jahren die doppelte Geschwindigkeit besitzen; das nothwendige Ende würde sein Herabstürzen auf die Sonne sein. Zwar haben bei den Planeten die Beobachtungen einen ähnlichen Einfluß des Aethers bisher noch nicht nachzuweisen vermocht; ob er aber wegen der größeren und festeren Masse der Planeten für diese ganz unschädlich und gleich Null zu setzen ist, läßt sich eben so wenig bestimmen. Wäre der durch den Aether bewirkte Widerstand auch noch so gering, er müßte ähnliche Folgen zuwegebringen, wenn auch vielleicht erst in vielen Millionen von Jahren. Das gemeinsame Grab aller Glieder unsers Sonnensystems wäre der brennende Schooß der Sonne, der ihnen einst vielleicht die Entstehung gegeben. Wie aber die von der Erde erzeugten und zur Erde wieder zurückgekehrten Stoffe durch die der Erde verliehene schöpferische Kraft zu neuen Gebilden sich gestalten; so wird durch Gottes allmächtige Hand der Stoff, der jetzt, zu den uns bekannten Planeten und Kometen geballt, die Sonne umkreiset, nachdem er den ihm vorgeschriebenen Zweck erfüllt hat, zu neuen Welten geformt werden, die, wie die gegenwärtige, seinen Ruhm verkündigen, so daß auch dann noch gelten wird, was der heilige Sänger sagt: Die Himmel rühmen des Ewigen Ehre, ihr Schall pflanzt seinen Namen fort!

Alphabetisches Register.

Abendweite 22. 148.
Aberration des Lichtes 152. 486. 490.
Abnehmender Mond 7.
Abplattung der Erde 94. 576.
— des Mondes 333. 593.
— der Planeten 448.
Abweichung s. Deklination.
Acceleration des Mondes 576.
Achsendrehung der Erde 82—114.
— — Negative Beweise dafür 83.
— — Positive — 85.
— des Mondes 221.
Aequator des Himmels 10. 123.
Aequatorhöhe 17.
Aequinoctialpunkte 32.
Aequinoctium 22. 24.
Aerolithen 283. 437.
Aether 67. 405. 605.
Alignement 514.
Allgemeine Schwere 526.
Analogie, Schluß nach ders. 81.
Anomalie, mittlere u. wahre 278.
Antipoden 77. 149.
Anziehungskraft s. Attractionskraft.
Aphelium 176.
Apogäum 217.
Apsiden, Apsidenlinie 176.
— Bewegung ders. 220. 325. 575. 581.
Aschgraues Licht des Mondes 46. 212.
Asteroiden 282. 359—367.
Atmosphäre der Erde 26. 328.
— — Höhe ders. 26.
— des Mondes 339.
— der Sonne 301.
Attractionskraft 77. 81. 521.
Attractions-Gesetze 526. 530.
Auguststrom der Sternschnuppen 431.
Azimuth 63.

Beharrungsvermögen 522.
Benzenbergs Fallversuche 104.
Bergadern des Mondes 345.
Beweglichkeit 523.
Bezeichnung der Fixsterne 510.
Biela'scher Komet 407.
Blickfeuer 130.
Bode'sches Gesetz 286.
Breite der Sterne 65.
— geographische 124. 126.
Breite, geograph. Bestimmung ders. 128.
Breitenkreise des Himmels 64 u. 65.
— der Erde 125.
Brennpunkte der Ellipse 174.

Cardinalpunkte 13.
Cäsar, Julius 196.
Centralbewegung 539—545.
— Gesetze ders. 542—545.
Centralsonne (Mädler) 499.
Centrifugalkraft 86. 96. 523.
Centripetalkraft 521.
Chromosphäre der Sonne 306.
Chronometer 129.
Circumpolarsterne 9. 18.
Coluren 32. 33.
Commutation 280.
Compaß 127.
Conjunction 49. 209.
— untere 246.
— obere 246.
Copernikus 258. 276.
Copernikanisches System 259.
Corona der Sonne 301.
Culmination, Culminationspunkt 5. 6.

Dämmerung 25—27. 138. 142. 143. 148. 329.
Dämmerungskreis 26.
— Zone 26. 117.
Dauer des Sonnensystems 600.
Deklination, Deklinationskreis 64. 65.
Deferirender Kreis 255.
Depression des natürl. Horizontes 136.
Dichtigkeit der Himmelskörper 564.
Donati'scher Komet 417.
Doppelsterne 468.
Drachenkopf u. Drachenschwanz 52.
Durchgänge Merkurs d. d. Sonnensch. 316.
— der Venus — 246. 322.

Ebbe und Flut des Oceans 583—592.
— der Atmosphäre 592.
Eigenbewegung der Sonne 498.
— der Fixsterne 496.
Einschattige 148. 170.
Ekliptik 28. 64. 176.
— Eintheilung ders. 32—34.
— Lage ders. 29. 37. 38—40.
— Pole ders. 41.
— Schiefe ders. 32. 325. 577.

Elemente der Planetenbahnen 278.
Ellipse 88.
— Entsteh. u. Eigenschaft. ders. 174. 546.
Ellipsoid 94.
Elongation der Planeten 245.
Encke's Komet 405.
Entfernung, Bestimmung ders. 451.
— der Fixsterne 482.
Epakte 203.
Epicykel 255.
Epoche 279.
Erdachse, Größe ders. 95.
— Lage ders. 159.
Erdbahn 173.
Erde, Abplattung 94.
— Achsendrehung ders. 82—114.
— Dichtigkeit ders. 327. 443.
— Größe ders. 94. 327.
— Folgen d. ellipt. Bewegung ders. 176.
— jährliche Bewegung 151 ff.
— Kugelgestalt ders. 73—82.
Evection des Mondes 570.
Excentricität 175.
— Aenderung ders. 581.

Fall der Körper 98. 521. 530.
Fallgeschwindigkeit i. verschied. Höhen 533.
Fallgesetze 532.
Fallversuche 98. 104.
Fernrohr, Vergrößerung durch dass. 342.
— Wichtigkeit dess. 281. 482.
Feste, bewegliche u. unbewegliche 199.
Feuerkugeln 436.
Finsternisse d. Mondes 46. 80. 131. 229—234.
— der Sonne 234—242.
— der Jupitersmonde 376.
Fixsterne 54. 451.
— Eigenbewegung 496.
— Eigennamen ders. 511 u. 512.
— Eigenschaften ders. 54.
— Entfernung 451.
— Farbe 461.
— Funkeln 458.
— Größe 485.
— Parallaxe 451. 484. 485. 486.
— scheinbare Größe u. Zahl ders. 55. 459.
— — Bewegung 8. 59. 118.
— Vertheilung 462.
Foucaults Pendelversuch 108.
Fraunhofersche Linien 303.
Frühlings-Aequinoctium 21.
Frühlingspunkt 32. 63. 64. 514.
— Bewegung dess. 493.

Galilei 101. 270. 300.
Gebirge des Mondes 345.
Gegenfüßler 77. 149.
Gegenwohner 150.
Geometrischer Ort eines Planeten 279.
Geographisches Netz 124.
Geschwindigkeit des Lichtes 378.
Gewicht der Körper 98. 521.
Gleichung der Bahn 278.
— jährliche des Mondes 571.
Grade der Parallelkreise, Größe 115.
Gradmessungen 90—96.
— Resultate ders. 94.
Gravitation 275. 521. 526.
Güldene Zahl 200.

Hafenetablissement 588.
Halley'scher Komet 412.
Heliocentrischer Ort eines Planeten 279.
Helle Nächte 27.
Herbstpunkt 32.
Herschels Hypothese über die Sonne 306.
Himmelsachse 9. 16. 17. 124.
— äquator 9.
— gegenden 13. 14. 119.
— globus 41. 513.
— pole 9. 494.
Höhe eines Gestirns 2. 3. 63. 65.
Horizont 1. 73—75.
— Größe dess. 75.
— natürl., astronom., wahrer 134.
— veränderliche Lage dess. 118.
Horizontal-Parallaxe 453.
Hyperbel 547.

Jahr 181. 195.
— anomalistisches 182.
— julianisches 196.
— platonisches 326.
— siderisches 182.
— tropisches 181. 195.
Jahreszeiten d. Erde, Entstehung ders. 155.
— ungleiche Dauer ders. 178.
— der verschiedenen Zonen 168—171.
— des Mondes 225. 353.
Jupiter 368—372.
— Monde 373—378.

Kalender, astronomischer 192.
— gregorianischer 197.
— — Einführung dess. 205.
— immerwährender 201.
— julianischer 196.
— kirchlicher 198.
— russischer 206.
Kegelschnitte 545.
Kepler 267.
— Gesetze 268—275. 543.
Kimmtiefe 136.
Kirchhoff'sche Hypothese über d. Sonne 308.
Klimate 171.
Knoten der Mondbahn 52. 217.
Knotenlinie des Mondes 217.
— — Beweg. ders. 217—21. 574.
Kohlensäcke 478.

Kometen 54. 57. 283. 398—423. 598.
— Beschreibung ders. 400.
— Masse ders. 402. 583.
— periodische 285. 405. 449.
— Störungen ders. 582.
Kraft 521.
— Wirkung ders. 523—525.
Krater u. Gruben des Mondes 348.
Kugelgestalt der Erde, Beweise 73—82.

Länge der Gestirne 65.
— geographische 43. 126.
— — Bestimmung ders. 129.
— mittlere 278.
Längenkreise 126.
Laplace'sche Hypothese 597.
Leitstrahlen s. Radius Vektor.
Leverrier 282. 394.
Libration des Mondes 224. 333. 334.
Licht der Sonne 301. 311.
— Brechung dess. 66.
— Geschwindigkeit dess. 378.

Magelhaen 119.
Magelhaen'sche Wolken 478.
Magnetnadel 14. 298. 593.
Mars 355—358.
Massenbestimmung.d.Weltkörper 558—64.
Meere des Mondes 344.
Meridian 10. 118. 125.
— erster 125.
— Reisen in der Richtung dess. 78.
Merkur 313—317.
Meteoriten 437.
Mêtre 93.
Milchstraße 56. 462.
Mittagshöhen i. d. verschied. Jahresz. 164.
Mittagskreis s. Meridian.
Mittagslinie 10.
Monat 47. 194. 221.
— Namen ders. 195.
— anomalistischer 221.
— drakonitischer 52. 221.
— siderischer u. synodisch. 50. 194. 221.
Mond 7. 44.
— Abplattung 333. 593.
— Alter dess. 49.
— aschgraues Licht 212.
— Beschreib. seiner Oberfläche 344—55.
— doppelte Bewegung dess. 48.
— Entfernung von der Erde 331.
— Libration 224. 333. 354.
— Masse u. Dichtigkeit 332.
— Phasen 7. 209. 215.
— Revolutionen, verschiedene 221. 334.
— Rotation 222—224. 332.
— scheinbare Bewegung dess. 7. 44 bis 53. 122. 139. 146.
— scheinbare u. wahre Größe 331.
— Tages- u. Jahreszeiten 225. 353
Mond, tägliche Verspätung 51. 209. 211.
— wahre u. scheinbare Geschwindigkeit 208. 210.
— wirkliche Bewegung 207—226.
Mondbahn 48.
— Form ders. 213.
— Knoten ders. 217.
— Lage zur Ekliptik 52. 53. 217.
— — zum Horizonte 53.
Mondcirkel, Metonscher u. Kalippisch. 200.
Monddistanzen als Mittel zur Längenbestimmung 132.
Mondfinsternisse 46. 80. 229—234.
— Mittel zur Längenbestimmung 131.
Mondgleichung 201.
Mondjahr 194 u. 195.
Morgenweite 22. 25. 148.

Nachmittagsbogen 6.
Nachmitternachtsbogen 6.
Nachtbogen 6. 118.
Nachtgleichenpunkte s. Aequinoctialp.
Nadir 2.
Nebelflecke 56. 473—479.
Nebelring 283. 423.
Nebelsterne 56. 476.
Nebenwohner 150.
Neigung der Bahnen 279. 581.
Neptun 394—397.
Newton 92. 94. 101. 104. 275. 276. 553.
Nordpol des Himmels 9. 494.
— der Erde, Erscheinungen für dens. 144.
Nordpunkt 13.
Novemberstrom der Sternschnuppen 432.
Nutation 495. 577.

Opposition 49. 210.
Orientirung, Mittel dazu 14. 15.
Ostern, Berechnung ders. 199.
Osterfeste dieses Jahrhunderts 201.
Ostergrenzen 202.
Ostpunkt 13.

Parabel 539. 546.
Parallaxe 323. 451. 484.
— jährliche 457.
— Orts- 457.
— Höhen- 456.
— Horizontal- 453.
Parallelkreise 18. 114. 124.
— Reisen in der Richtung ders. 79.
Parallelogramm der Kräfte 524.
Passatwinde 105.
Pendel 99—103. 534—538.
— Abweichung dess. 114.
— Gesetze 101. 534—537.
— Versuche Foucaults 108.
— Sekunden- 102. 537.
Perigäum 217.

Perihelium 176.
— der Erde 180.
Phasen des Mondes 7. 209. 215.
— der inneren Planeten 249.
Photometrische Größenbestimmungen der Asteroiden 365 u. 366.
Photosphäre der Sonne 301. 307.
Planeten, Beschreibung ders. 313—398.
— Eigenschaften ders. 54. 56. 243.
— Eintheilung ders. 245.
— scheinbare Bewegung d. inneren 245.
— — äußeren 249.
— — — Erklärung ders. 261 u. 263.
Planetensystem 251. 595.
— das Aegyptische 257.
— das Copernikanische 259.
— das Ptolemäische 252.
— das Tychonische 266.
Planetentafeln 280.
Plateau's Versuch 596.
Platonisches Jahr 166.
Polarkreise 123. 168.
— Erscheinungen für dies. 142. 161.
Polarstern 9. 15.
— zu verschiedenen Zeiten 494.
Pole des Himmels 9.
— der Ekliptik 65. 494.
— der Erde, Erscheinung. für dies. 144.
Polhöhe 16. 17.
— Bestimmung ders. 60.
— gleich der geogr. Breite 137.
Position d. Sterne, Bestimm. ders. 62—66.
Präcession d. Nachtgleich. 166.325.493.577.
Protuberanzen der Sonne 241. 302. 305.

Quadrant 61.
Quadratur 49. 264.

Radius Vector 175. 178. 272.
Rectascension 63. 65. 494.
Reflexion des Lichtes 329.
Refraction 66—71.
— astronomische 68.
— — Folgen ders. 70. 71.
— — Größe ders. 69.
— terrestrische 70.
Ringgebirge des Mondes 348.
Rillen 349.
Revolutionen des Mondes 221.
Rotation des Mondes 221.
Rotationsgeschwindigkeit der Erde 114.
Rudolfinische Tafeln 205.

Saturn 380—383.
— Monde dess. 390.
— Ringe dess. 383—390.
Schatten 11.
— der Erde, Gestalt dess. 227.
— — Länge 228.
Scheitelkreis, Scheitellinie 2.
Schiefe der Ekliptik 32. 325.
Schiefe Ebene 532.
Schraubenförmige Bewegung d. Sonne 36.
Schwere, allgemeine 98. 526 ff.
— a. d. Oberfläche d. Himmelskörp. 564.
— terrestrische 521.
Schwerpunkt der Körper 548—552.
Schwungkraft 86. 96. 523.
— Verhältnis ders. 87.
Scintilliren der Fixsterne 458.
Sekundenpendel 102. 537.
Solstitialpunkte 32.
Sommersolstitium 22.
Sonne 290—313.
— Eigenbewegung 498.
— Fall d. Körper a. d. Oberfläche 292.
— Masse u. Dichtigkeit 292.
— mittlere 120. 184.
— Rotation ders. 298.
— scheinbare Bewegung ders. 5.21.153.
— — in der Ekliptik 30.
— scheinbare u. wahre Größe 291.
Sonnenäquator 299.
Sonnenfinsternisse 234—242.
— ein Mittel zu Längenbestimm. 132.
Sonnenflecken u. -fackeln 293 ff.
— gleichung 201.
— nähe u. -ferne s. Perihel u. Aphel.
— spektrum 303.
— system in jetziger Gestalt 284.
— tafel 186.
— tag, wahrer 31.
— — — ungleiche Dauer ders. 183.
— — mittlerer 191.
— umhüllungen 301.
— zeit 31. 119. 154. 182. 191.
Sonntage, Namen ders. 198.
Spektral-Analyse der Sonne 303.
— der Fixsterne 479.
Sphären, senkrechte 138.
— schiefe u. parallele 147.
Springflut 585.
Sprung der Zeiten 204.
Sternbilder 33. 502—519.
— der Alten und neue 509.
— d. Thierkreises 33.504—8.511.516.
Sterne, Arten ders. 54.
— Bestimmung der Position ders. 62.
— neu erschienene u. verschwund. 466.
— scheinbare Bewegung ders. 8.59.139.
— veränderliche 463.
Sternhaufen 56. 471.
— karten 514.
— schnuppen 283. 427—442.
— — Erklärung ders. 438.
— tag 31. 514.
— zeit 31. 59. 119. 154. 182.
Störungen 567.

Störungen, periodische 568.
— — des Mondes 569—572.
— — der Planeten 573.
— säculare 568.
— — der Erde 577.
— — des Mondes 574.
— — der Kometen 582.
— — der Planeten 580.
Strahlenbrechung s. Refraction.
Strahlensysteme des Mondes 350.
Stundenkreis 64.
Stundenwinkel 59. 514.
Südweite 63.
Syzygien 488.

Tabellarische Uebersicht über d. Sonnensystem 443—449.
Tag, bürgerlicher u. astronomischer 193.
Tagbogen 5. 118.
Tageszeiten der Erde 119.
— des Mondes 215.
Tagkreis 6.
Telegraphen als Mittel der Längenbestimmung 130.
Temperaturberechnung 172.
Theorie der Planetenbewegung 276.
Thierkreis 33. 503—508. 511. 516.
Trägheit 522.

Umlaufszeiten der Planeten 444—449.
Umschattig 145. 148. 171.
Umschiffung der Erde 77.
Ungleichheiten der Planeten 253. 255.
— — Erklär. ders. 261—66.
Unschattig 138. 148. 169.
Uranus 391.
— Monde 393.

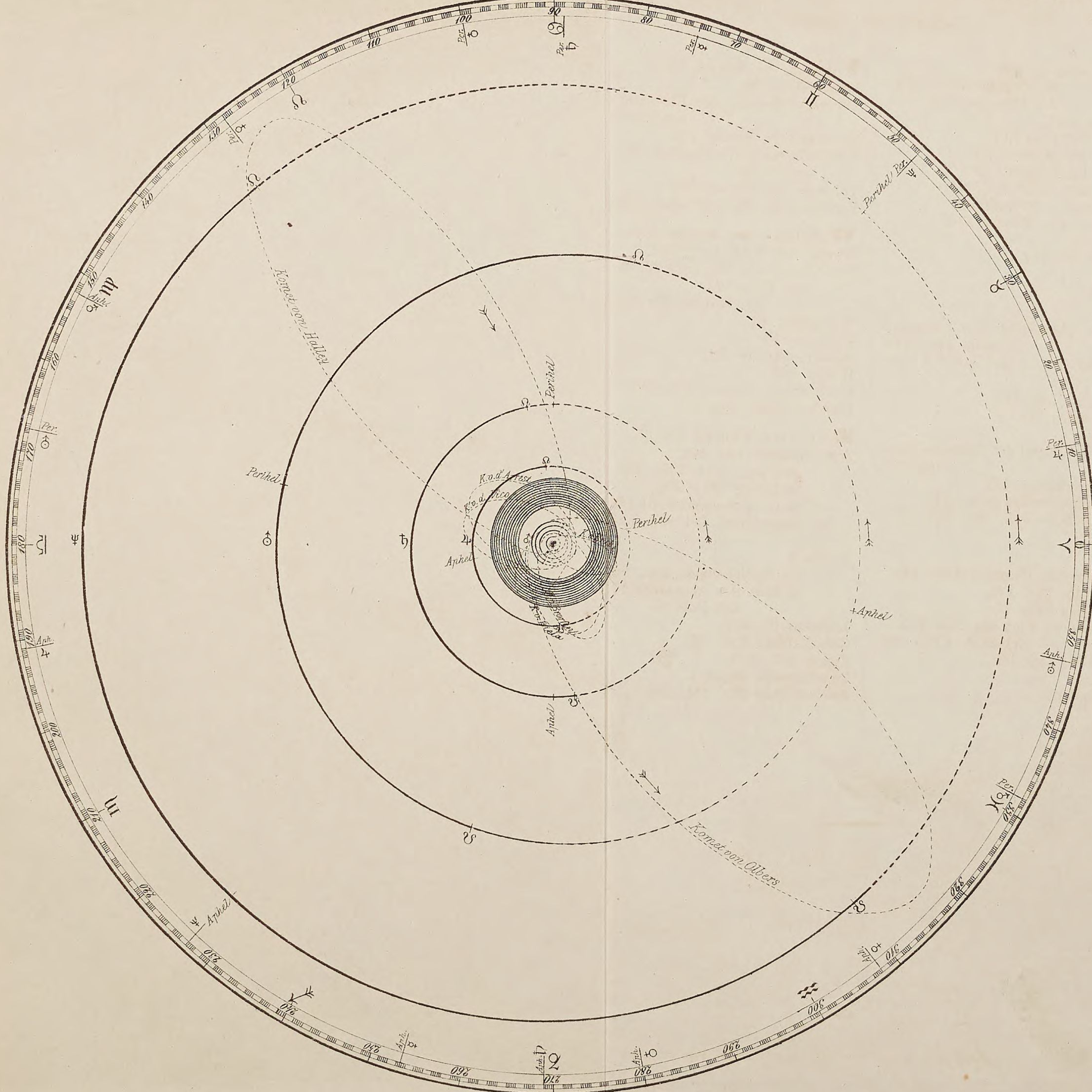
Variation des Mondes 571.
Venus 317—325.
Veranschaulichung der Elemente des Planetensystems 397.
Veränderliche Sterne 463.
Vertikalkreis u. Vertikallinie 2.
— erster 15.
Volumen der Körper 522.
Vorrücken der Nachtgleichen s. Präcession.

Wallebenen des Mondes 347.
Wärme der Sonne 301. 311.
Wendekreise des Himmels 22. 23. 35. 123.
— der Erde 123.
— — Erscheinung. für dies. 140—42.
Westpunkt 13.
Windrose 13.
Wintersolstitium 23.
Woche 193.
Wochentage, Namen ders. 193.
Wurfbewegung 538.

Zeichen der Ekliptik 34. 35.
Zeit, mittlere 120. 184.
— gleichung 184. 187—189.
— rechnung 191—206.
— Stern- u. Sonnenzeit 31.154.182.191.
— unterschied bei versch. Länge 79. 119. 130.
Zenith 2.
— Veränderlichkeit dess. 88.
— distanz des Aequators 17.
— — des Pols 17.
Zodiakus 33. 516.
Zodiakallicht 283. 423.
Zonen 167—171.
Zunehmender Mond 7.
Zweischattig 139. 148. 169.

Druck von Albert Sayffaerth (vorm. Otto Schröder) in Berlin, Prinzenstr. 27.

Tafel I.



zu Ed: Wetzel „Himmelskunde".

Verlag von Adolph Stubenrauch & Co.

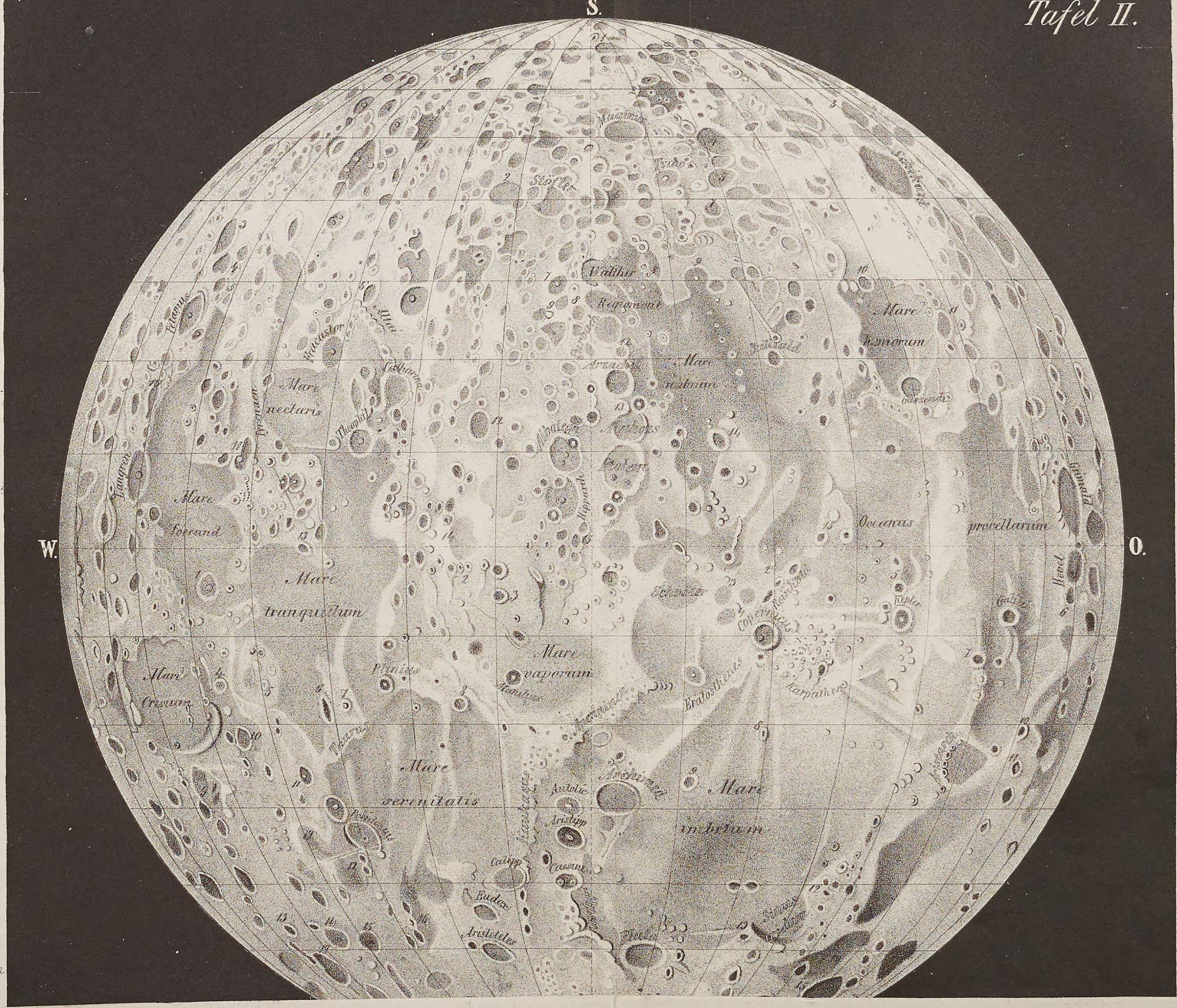
Lith. Anst. v. Th. Stein, vorm: C. Ullrich.

MONDKARTE.

Tafel II.

1 Pitiscus
2 Maurolycus
3 Furnerius
4 Snellius
5 Stevin
6. Piccolomini
7. Alhacensis
8. Werner
9. Appian
10 Wendelin
11 Coclenius
12. Albufeda
13 Censorinus
14 Delambre
15 Réaumur

1 Moretus
2. Clavius
3. Phocylides
4. Longomontan
5 Wilhelm v Hessen
6. Orontius
7. Heinsius
8 Hell
9. Pilatus
10. Vitello
11 Mersenius
12. Thebit
13. Alpetragius
14. Guericke
15 Landsberg

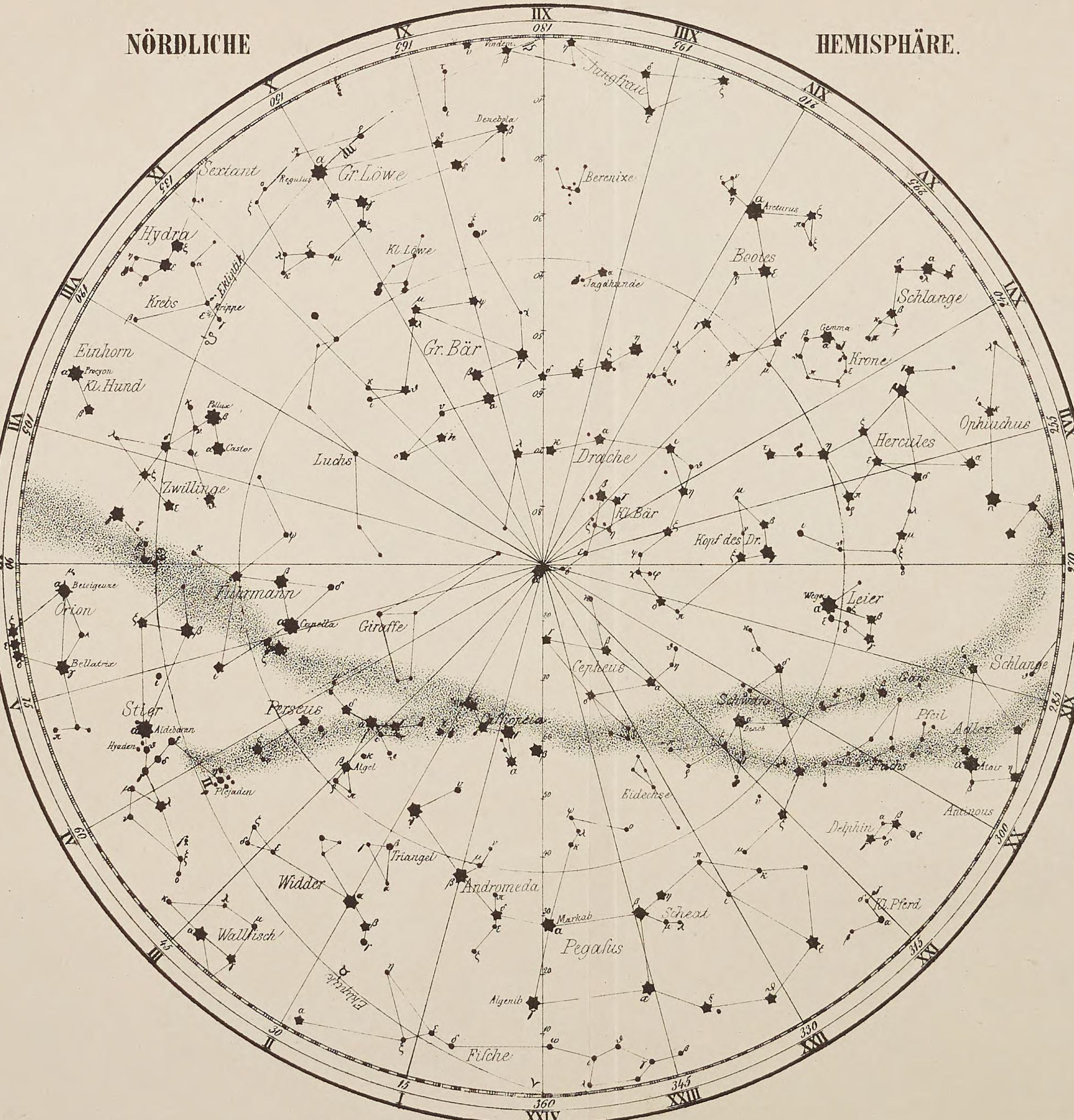


1 Tarantius
2 Dionys
3 Agrippa
4 Proclus
5 …tus somnii
6 Maraldi
7. Vitruvius
8 Menelaus
9 Cleomedes
10 Macrobius
11 Romer
12 Lacus somniorum
13 Mercur
14
15
16
17

1. Pallas
2. Rheticus
3. Stadius
4 Dominicus
5 Encke
6 Cavalerius
7 Marius
8 Pytheas
9 Timocharis
10. Seleucus
11 Briggs
12 Heraclides Cap.

Tafel III.

NÖRDLICHE HEMISPHÄRE.



$\star$ 1te $\star$ 2te $\star$ 3te $\bullet$ 4te $\cdot$ 5te $\cdot$ 6te Grösse.

✦ Veränderliche Sterne.

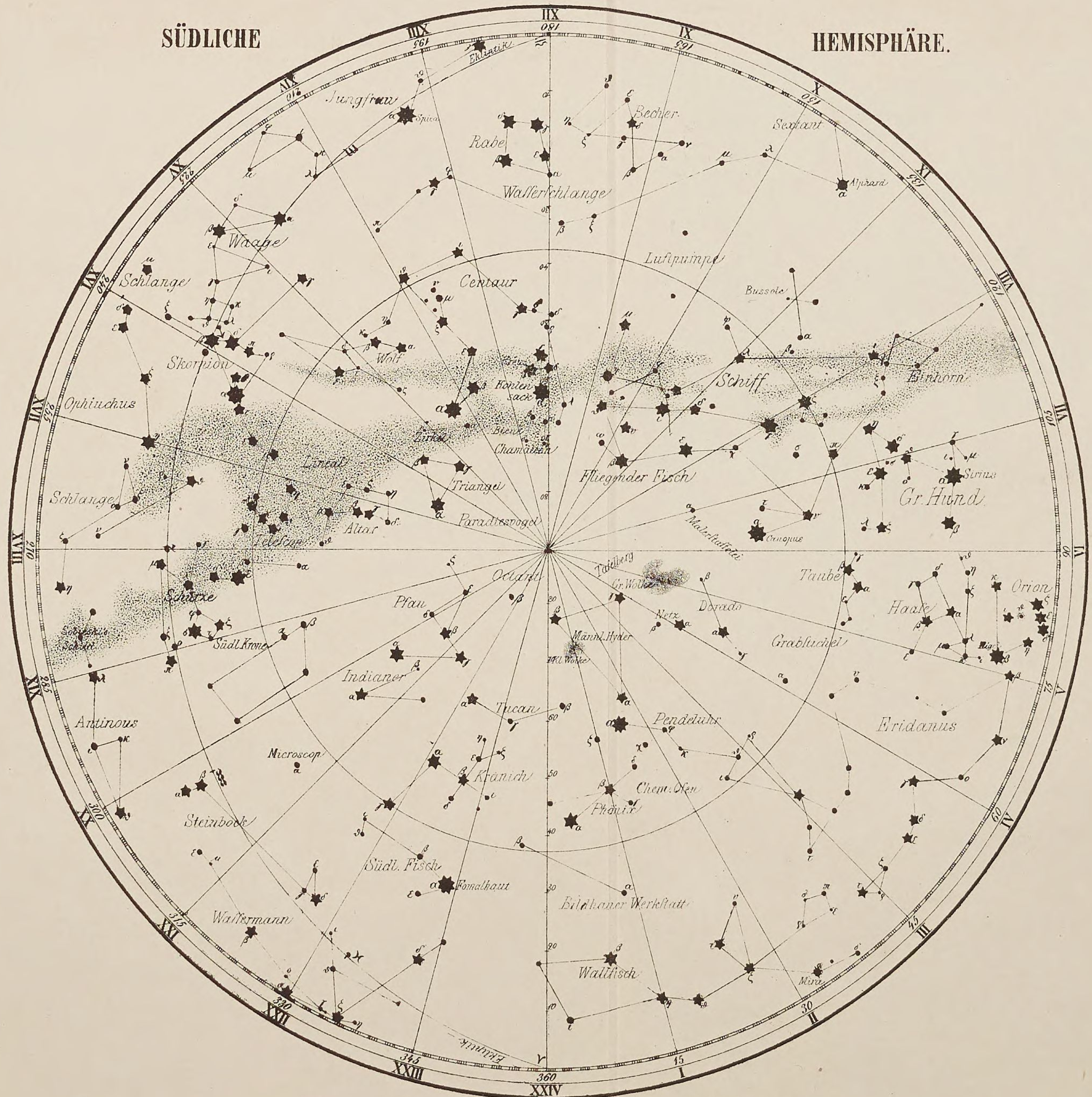
zu Ed: Wetzel Himmelskunde.

Lith. Anst v. Th. Stein, vorm: C. Ullrich.

Verlag von Adolph Stubenrauch & Co.

Tafel IV.

SÜDLICHE HEMISPHÄRE.



★ 1te ★ 2te ★ 3te • 4te • 5te · 6te Grösse.

✦ Veränderliche Sterne.


zu Ed: Wetzel „Himmelskunde"

Lith. Anst. v. Th. Stein, vorm: C. Ullrich.

Verlag von Adolph Stubenrauch & Co.

Tafel V.

DIE AEQUATORIALZONE DES HIMMELS
VOM 50$^{\text{sten}}$ GRAD NÖRDLICHER BIS ZUM 50$^{\text{sten}}$ GRAD SÜDLICHER DECLINATION.



1$^{\text{te}}$ 2$^{\text{te}}$ 3$^{\text{te}}$ 4$^{\text{te}}$ 5$^{\text{te}}$ 6$^{\text{te}}$ Grösse.

Veränderliche Sterne.

zu Ed. Wetzel „Himmelskunde."

Verlag von Adolph Stubenrauch & C$^{\text{o}}$.

Lith. Anst. v. Th. Stein, vorm. C. Ullrich.

Bayerische StaatsBibliothek

Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Wetzel, Eduard

Allgemeine Himmelskunde eine populäre Darstellung dieser Wissenschaft nach den neuesten Forschungen

Berlin 1870

Bamberg, Staatsbibliothek -- Astr.o.61
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11424246-6